

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

# **Konstrukční návrh všesměrového kola pro velká zatížení**

## Construction Design of Omnidirectional Wheel for Heavy Loads

Student:

Bc. David Grigarčík

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ladislav Kárník, CSc.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra robotiky

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. David Grigarčík**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301T013 Robotika  
Téma: **Konstrukční návrh všesměrového kola pro velká zatížení**  
**Construction Design of Omnidirectional Wheel for Heavy Loads**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte analýzu současného stavu a navrhnete varianty řešení možných koncepcí všesměrového kola pro velká zatížení.
2. Proveďte výběr optimální varianty.
3. Konstrukční návrh vybrané varianty podrobně rozpracujte dle pokynů vedoucího s využitím CAD systému Creo.
4. Výkresovou dokumentaci zpracujte dle pokynů vedoucího.
5. Vypracujte technickou zprávu s potřebnými výpočty a zhodnoťte dosažené výsledky.
6. Závěr.
7. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu editoru MSWORD, PDF a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynu vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

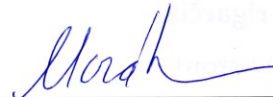
- KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. VŠB-TU Ostrava, 2004. 144 s. ISBN 80-248-0626-6.
- KÁRNÍK, L. - KNOFLÍČEK, R. - MARCINCIN, J. N. *Mobilní roboty*. Opava: MÁRFY SLEZSKO, 2000. 210 s. ISBN 80-902746-2-5.
- MENZEL, P. - D'ALUSIO, F. *Robo sapiens: evolution of a new species*. USA, New York, 2000. 239 p. ISBN 0-262-13382-2.
- SKARUPA, J. - MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. Košice: Viena Košice, 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0.
- KOLÍBAL, Z a kol. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. I. vydání. Havlíčkův Brod: VUTIUM, 2016, 786 s. ISBN 978-80-214-4828-5.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ladislav Kárník, CSc.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



prof. Dr. Ing. Petr Novák  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřisežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 21. května 2018

.....*Grigorič*.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на ве́домі́, że Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ве́домі́, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21. května 2018

.....*Grigarčík*.....  
Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

David Grigarčík

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Štěpánkovice  
Hlavní 63  
74728

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

GRIGARČÍK, D. *Konstrukční návrh všesměrového kola pro velká zatížení: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra Robotiky, 2018, 51 s. Vedoucí práce: Ing. Ladislav Kárník, CSc.

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem všesměrového kola. V úvodu práce jsou popsány všesměrová kola, které se doposud vyskytují na trhu. Na základě požadavků na všesměrové kolo, byly navrženy 2 varianty řešení, které je splňují. Pomocí kritériální analýzy byla vybrána optimální varianta, která byla dále upravována do finální podoby. Na závěr práce jsou zhotoveny pevnostní analýzy na kontrolu hřídele. V příloze najdeme výrobní dokumentaci. Na přiloženém DVD je 3D model optimální varianty zpracovaný v programu PTC Creo 3.0 a výrobní dokumentaci.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

GRIGARČÍK, D. *Construction Design of Omnidirectional Wheel for Heavy Loads: Master thesis*. Ostrava. VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2018, 51 p. Thesis head: Ing. Ladislav Kárník, CSc.

The Master thesis focuses on the constructional design of the omnidirectional wheel. At the beginning of the work are described the omnidirectional wheels that are present on the market. Based on the omnidirectional wheel requirements, 2 variants of the solution were designed to meet them. The optimal variant was selected using the Critical Analysis, which was further modified to the final form. At the end of the work, strength analysis is performed to check the shaft. In the appendix we find production documentation. On the enclosed DVD there is the 3D model of the optimal variant created in PTC Creo 3.0 program and production documentation.

# Obsah

Seznam použitých zkratk a termínů .....	9
Úvod.....	10
1 Rešerše .....	11
1.1 Věsměrová kola.....	11
1.1.1 Stanfordská.....	12
1.1.2 Illanator .....	12
1.2 Konstrukce kola Illanator .....	13
1.3 Využití věsměrového kola.....	14
2 Požadavkový list .....	16
3 Varianty řešení .....	17
3.1 Varianta A.....	17
3.1.1 Pevnostní analýza hřídele varianty A.....	19
3.2 Varianta B.....	20
3.2.1 Pevnostní analýza hřídele varianty B .....	22
4 Výběr optimální varianty .....	23
4.1 Hodnoty kritérií .....	23
4.2 Hodnocení jednotlivých variant dle vybraných kritérií .....	24
4.3 Stanovení významnosti kritérií .....	24
4.4 Určení součinitelů významnosti kritérií.....	25
4.5 Výpočet vážených indexů variant.....	26
4.6 Závěr analýzy.....	27
5 Optimální varianta.....	27
5.1 Rám věsměrového kola .....	28
5.1.1 Pevnostní analýza rámu.....	29
5.2 Pevnostní analýza hřídele .....	31
5.3 Úprava válivého elementu .....	32
5.3.1 Pevnostní analýza upravené hřídele .....	32
5.4 Zhodnocení pevnostních analýz hřídelí .....	34
5.5 Pevnostní analýza válivého elementu .....	34
6 Výpočet ložisek a kontrolní výpočty hřídele a pouzdra .....	36
6.1 Výpočet síly působící na ložiska .....	36
6.2 Kontrolní výpočty hřídele a pouzdra .....	38
7 Montáž věsměrového kola.....	39

7.1 Montáž rámu .....	39
7.2 Montáž válivého elementu.....	40
7.3 Montáž celku .....	41
8 Požadavky na provoz a údržbu .....	42
8.1 Ukázka použití všesměrového kola na podvozku.....	42
8.2 Připojovací rozměry na všesměrové kolo .....	44
8.3 Údržba všesměrového kola.....	44
9 Ekonomické zhodnocení .....	45
9.1 Náklady za rám kola .....	45
9.2 Náklady za valivý element.....	46
10 Závěr .....	47
11 Použitá literatura .....	49
12 Bibliografie .....	50
13 Seznam příloh.....	51



## Seznam použitých zkratk a termínů

Značka	Význam	Jednotky
$F_{Ra}$	Síla působící na pravé ložisko	[N]
$F_l$	Působící síla na válivý element	[N]
$L_{RL}$	Vzdálenost ložiska od rámu	[mm]
$M_{omax}$	Maximální ohybový moment	[MPa]
$R_A$	Reakce levého ložiska	[N]
$R_B$	Reakce pravého ložiska	[N]
$Re$	Mez v kluzu	[MPa]
$a$	Délka ramene mezi ložiskem a silou	[mm]
$a_L$	Šířka rámu kola	[mm]
$a_R$	Šířka ložiska	[mm]
$b$	Délka ramene mezi ložiskem a silou	[mm]
$d$	Průměr hřídele v ložiscích	[mm]
$l$	Vzdálenost ložisek	[mm]
$p_D$	Dovolené napětí v otláčení	[MPa]
$p_l$	Velikost napětí v otláčení pouzdra	[MPa]
$k$	Součinitel bezpečnosti	[-]
$v_l$	Mezera mezi rámem a ložiskem	[mm]
$\sigma_{Do}$	Dovolené napětí v ohybu	[MPa]
$\sigma_o$	Napětí v ohybu	[MPa]

# Úvod

Strojírenství je rychle se rozvíjející odvětví, které vyžaduje neustálou výrobu součástí. Jestliže jednou z hlavních priorit výroby je rychlost, je potřeba zajistit dostatečný prostor, pro ukládání zhotovených výrobků.

Z těchto důvodů slouží velké skladovací areály, kde máme dostatek prostoru pro skladování obrobků. Pro snadnou práci s manipulací těžkých věcí nebo skladování do vysokých regálů, musí být příslušný sklad vybaven skladovací a manipulační technikou. Pro tyto účely bývají sklady vybaveny vysokozdvížnými vozíky nebo montážními plošinami. Nevýhodou vysokozdvížných vozíků je jejich manipulační prostor, tudíž musí být mezi jednotlivými regály dostatek prostoru pro bezpečný pohyb vozíků. Tento prostor zapříčiní problém s nedostatkem místa pro regály a je potřeba zvětšit celý sklad, což je finančně náročné.

Problém by se dal vyřešit koupí menšího vozíku, ale jeho nevýhodou je malá nosnost. A z takových důvodů se začaly vysokozdvížné vozíky vyrábět s všesměrovými koly. Díky nim se dokáže vozík pohybovat a otáčet v malých prostorách.

Cílem této práce je návrh konstrukčního řešení pro všesměrové kolo, které lze zatížit velkou silou. Síla, kterou kolo zatížíme je 20 kN. Kolo musí být navrženo tak, aby se dalo využít pro různé podvozky manipulačních strojů. Jedná se o vysokozdvížné vozíky (VZV), montážní plošiny, přepravní plošiny a jiné.

Po zhodnocení a výběru vhodného typu všesměrového kola budou navrženy 2 varianty, které musí splňovat jednotlivé požadavky. Tyto varianty budou podrobeny kritériální analýzou, na jejímž základě se vybere optimální varianta.

Vybraná varianta se bude dále upravovat, pro dosažení nejvhodnějších výsledků. Pomocí programu PTC Creo 3.0 bude vytvořena pevnostní analýza, v níž budou simulovány předpokládané provozní zatížení na vybraných částí všesměrového kola. Dále se v programu PTC Creo Illustrate 3.0 vypracují montážní postupy daných podsestav. Zde budou zobrazeny jak jednotlivé kroky montáže, tak jednotlivé díly podsestav všesměrového kola.

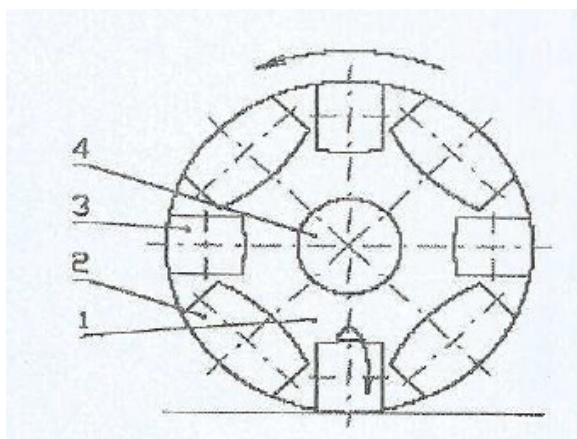
Na závěr práce budou zpracovány odhadované náklady týkající se cen koupě polotovarů a cen, které budou zapotřebí pro obrábění a výroby částí. A v poslední řadě budou vytvořeny výkresové dokumenty všech komponentů, podsestav a sestav.

# 1 Rešerše

Rešerše popisuje základní rozdělení všesměrových kol, které se vyskytují na trhu, jejich jednotlivé části a všeobecné využití.

## 1.1 Všesměrová kola

Všesměrová kola se vyznačují tím, že na rozdíl od běžných kolových podvozků dovolují, jak jízdu v přímém směru, tak zatáčení na nulovém poloměru okolo svislé osy. Základní části všesměrového kola jsou znázorněné na obr. 1.1 [1].



- 1 - náboj
- 2,3 - válivé elementy
- 4 - hřídel

Obr. 1.1 Všesměrové kolo

S kolem je možné provádět dva způsoby pohybu:

- Rotace okolo osy náboje, kdy elementy zůstávají v klidu.
- Translaci ve směru osy náboje, kdy element v kontaktu s terénem se otáčí a náboj je fixován.

Podvozky konstruované se všesměrovými koly se mohou volně pohybovat ve všech směrech a v malých prostorách pohotově zatáčet nebo i dokonce rotovat. Podvozky jsou také schopny okamžité změny směru a to s nulovým poloměrem.

Výhodou tohoto podvozku je vysoká dynamičnost jízdy a vysoká manévrovatelnost v omezeném prostoru. Nevýhodou podvozku je nutná vysoká výrobní, montážní přesnost provedení kol a malá schopnost překonávání větších nerovností povrchu terénu.

Druhy všesměrových kol:

- Stanfordská
- Illanator

### 1.1.1 Stanfordská

U Stanfordského všesměrového kola mají válivé elementy soudečkový tvar a jejich obvodová křivka (na podélném řezu soudečku) je částí kružnice. Kola mají minimálně dvě řady válivých elementů, pro zajištění plynulého a komfortního pojezdu, jak je znázorněno na obr. 1.2 [2, 3, 4, 5].



*Obr. 1.2 Různé provedení všesměrového kola*

### 1.1.2 Illanator

Všesměrové kolo tohoto typu má mnoho provedení, které se liší zejména tvarem náboje, ve kterém jsou uchyceny válivé elementy. Válivé elementy jsou buď celistvé, nebo dělené. Všesměrové kolo pro větší zátěžovou sílu je potřeba řešit uložením válivého segmentu s válivým nebo kluzným ložiskem. Jednotlivé provedení jsou znázorněné na obr. 1.3 [6, 7,8].



*Obr. 1.3 Různé provedení všesměrového kola Illanator*

Elementy všesměrového kola mají soudečkový tvar a jejich osa svírá s osou náboje úhel  $45^\circ$ . Povrchová křivka valivého elementu představuje část elipsy. Pro použití ve venkovním prostředí je třeba válivé elementy pogumovat.

Výhodou kola Illanator je, že na vnějším průměru vykazuje téměř dokonalou kružnici oproti ostatním konstrukcím všesměrového kola. Nevýhodou je poměrně velká přesnost výroby a montáže.

## 1.2 Konstrukce kola Illanator

Kolo typu Illanator je složeno z několika jednotlivých dílů. Jejich počet a tvar se liší výrobním typem. Jednotlivé části jsou znázorněné na obr. 1.4 [9, 10, 11].

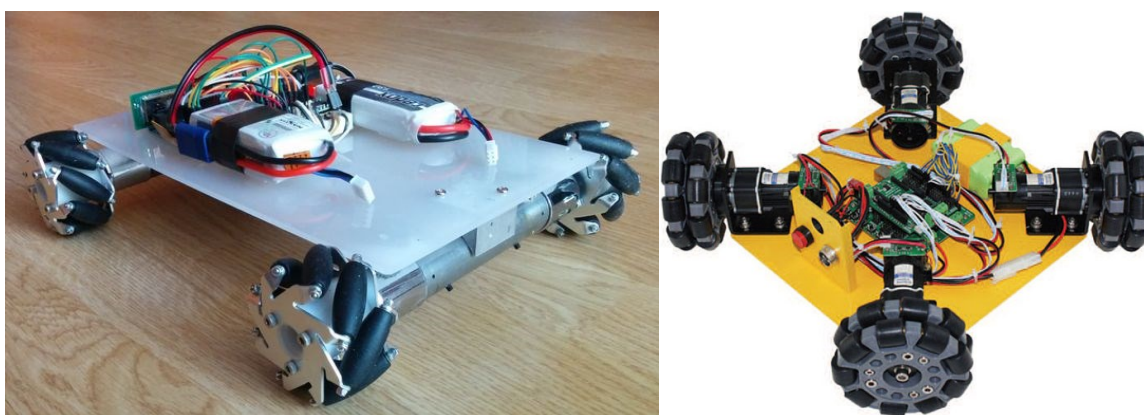
- Rám kola
- Válivý element
- Nosná hřídel elementů
- Kuličkové nebo kluzné ložisko
- Spojovací materiál



*Obr. 1.4 Jednotlivé komponenty kola Illanator*

### 1.3 Využití všesměrového kola

Všesměrová kola se využívají jak pro malé, tak i pro velké zatížení. Kola s menší nosností se využívají převážně pro robotické podvozky (viz obr. 1.5 [12, 13]).



*Obr. 1.5 Využití kol s menší nosností*



Kola se středním zatížením se využívají pro ruční přepravníky, jako rudla a jiné (viz obr. 1.6 [14, 15]).



*Obr. 1.6 Využití kol pro střední nosnosti*

A pro větší zatížení se kola využívají pro podvozky vysokozdvizných vozíků, montážních plošin atd. (viz obr. 1.7 [16, 17, 18]).



*Obr. 1.7 Využití kol pro větší zatížení*

## 2 Požadavkový list

V Tab. 2.1 jsou vypsány parametry, které jsou nutné pro správný návrh všesměrového kola.

Tab. 2.1 Požadavkový list

Požadavek	Parametr/Hodnota	Popis
Nosnost	2000 kg	Kolo je navrhováno pro podvozky VZV a montážních plošin.
Hmotnost	120 - 180 kg	Pro lepší manipulaci a výměnu kola.
Rozměry	průměr 490 - 540 mm šířka 250 - 310 mm	
Pracovní místo	zpevněný rovinný povrch	Jedná se o vnější i vnitřní prostory, kde je na zemi beton nebo dlaždice a mohou se vyskytovat menší nečistoty, olej, voda, kamínky.
Výška překážky	20 mm	Je nutné při přemístění z venkovního prostředí do vnitřního, kde se mohou vyskytovat prahy.
Rychlost	10 km/h	Po rovinné zpevněné ploše.
Zrychlení	0,1 m/s	
Teplotní rozsah	-25°C ÷ 50°C	Odolnost vůči mrazu, dešti, sněhu.
Počet elementů	min. 6 max. 9	
Povrchová úprava elementů	pogumování	Aby nedocházelo k prokluzu na hladkém povrchu a pro zachycování vibrací.
Tloušťka pogumování	min. 8 mm	Aby nedošlo k poškození při jízdě na nerovnostech.
Podléhá Evropské normě	CE	Z důvodu bezpečnosti a volného prodeje.

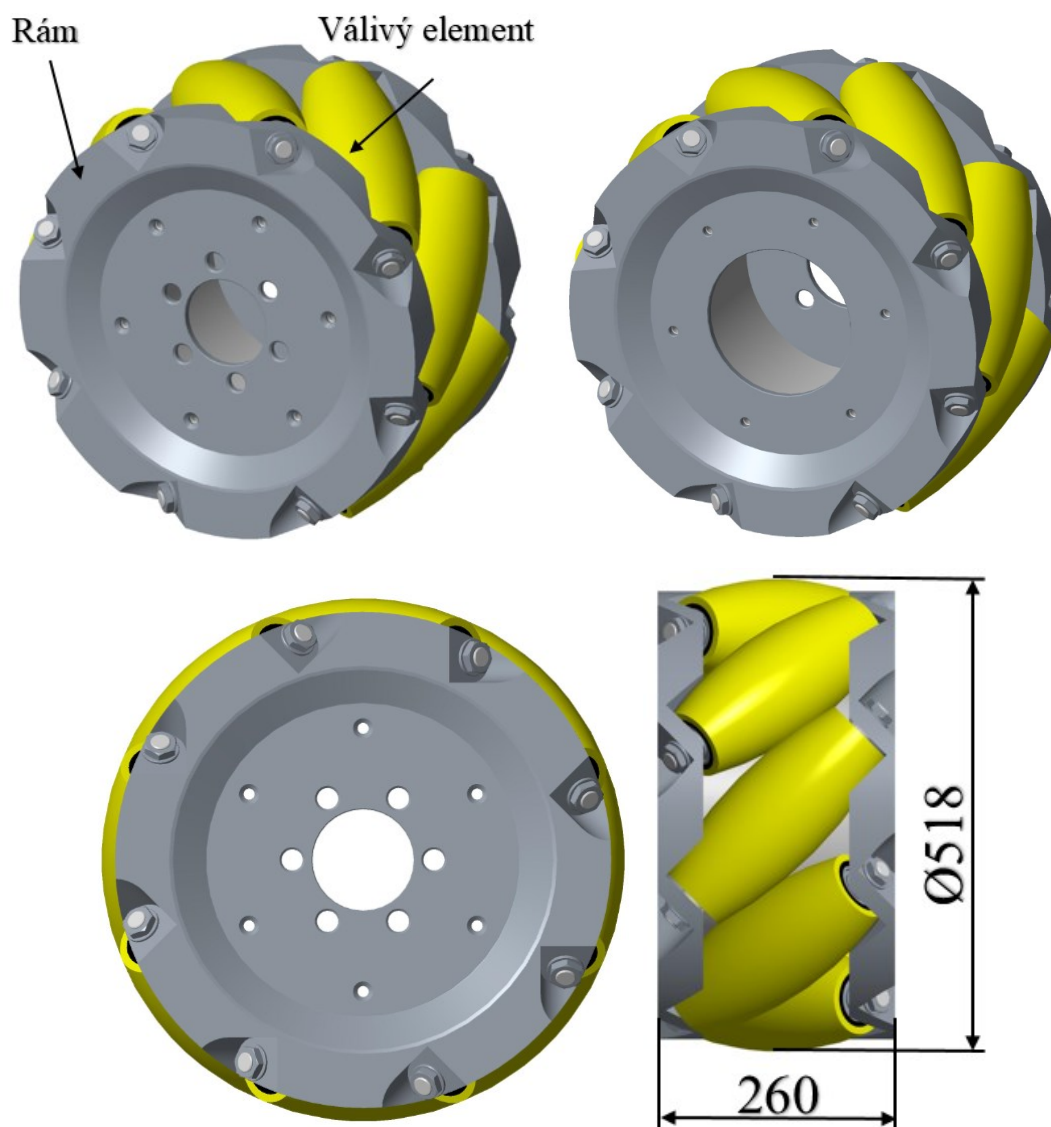


### 3 Varianty řešení

Byly navrženy celkem dvě různé varianty všesměrového kola, které splňují požadavky určené v požadavkovém listu.

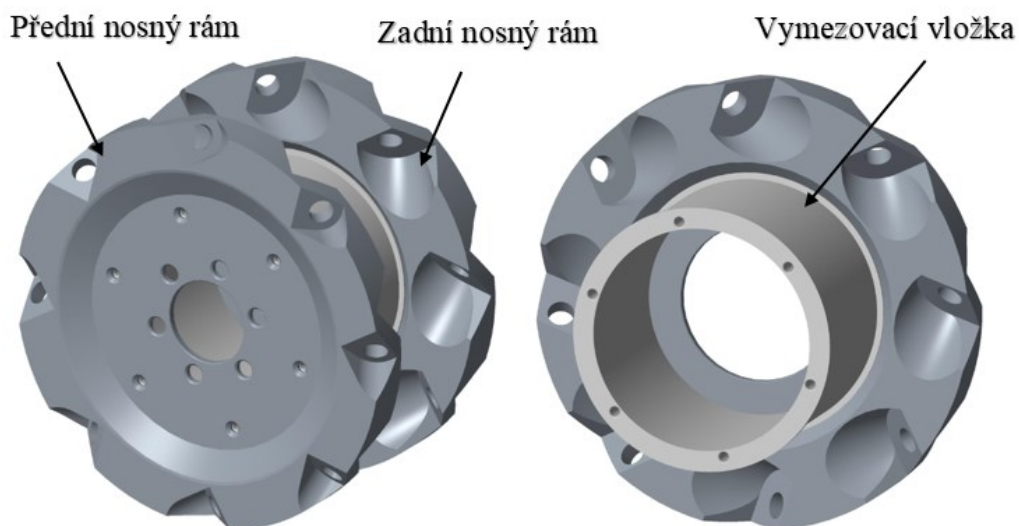
#### 3.1 Varianta A

Jedná se o všesměrové kolo typu Illanator s celistvými válivými elementy. Kolo má 8 celistvých válečků, které jsou navrženy tak, aby každý z nich unesl 2000kg. Velikost kola je  $\text{Ø}518 \times 260 \text{ mm}$  a jeho celková hmotnost je 169kg (viz obr. 3.1).



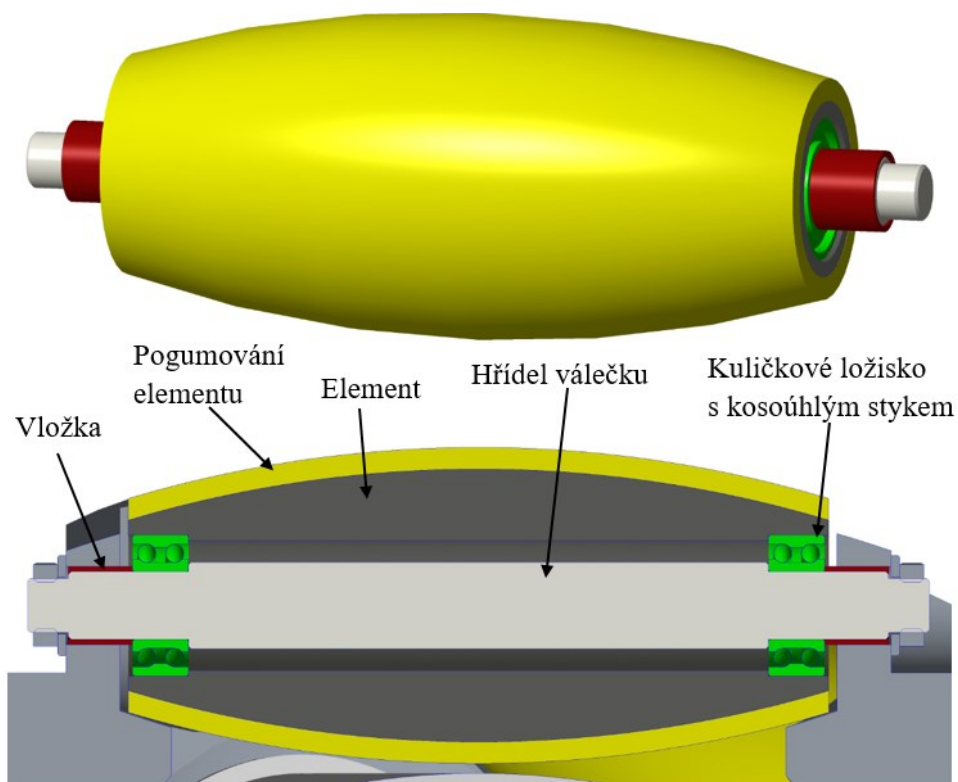
Obr. 3.1 Všesměrové kolo varianty A

Rám kola se skládá ze 3 částí, nosná část rámu je vyrobena z oceli a vymežovací vložka, která rám drží, je vyrobena z hliníku (viz obr. 3.2). Hmotnost rámu je 73 kg a jeho výroba se provádí na CNC stroji.



*Obr. 3.2 Rám všesměrového kola varianty A*

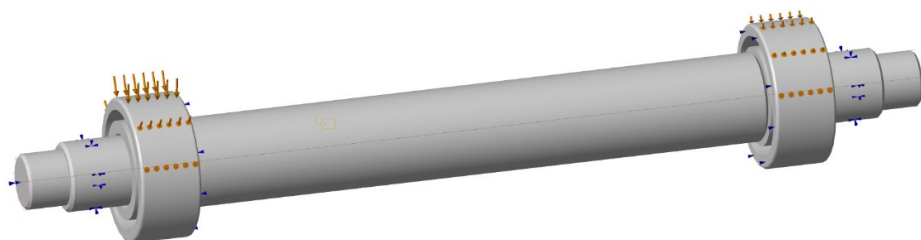
Válivý element kola je celistvý s elipsovitým tvarem, který zaručí otáčení kol bez nežádoucích vibrací kola. Délka válivého elementu je 258mm a jeho největší průměr je 115 mm. Hmotnost celého válivého elementu včetně hřídele je 11,8 kg. Všechny komponenty kromě pogumované vrstvy se vyrábí z oceli. Pro zabránění nárazu a prokluzu na hladkém povrchu, je vrchní vrstva válivého elementu opatřena pogumováním. Velikost pogumované vrstvy je 8mm. Jednotlivé části válivého elementu jsou znázorněny na obr. 3.3.



*Obr. 3.3 Válivý element všesměrového kola varianty A*

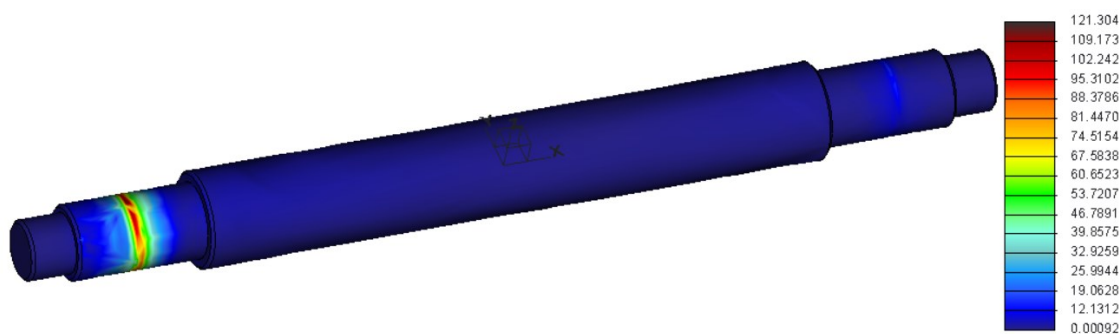
### 3.1.1 Pevnostní analýza hřídele varianty A

Pro variantu A byla provedena pevnostní analýza, která bude zahrnuta při výběru optimální varianty. Na obr 3.4 jsou znázorněné síly a reakce působící na hřídel válivého elementu a ložisek. Pro danou hřídel byl vybrán materiál 11 600 s dovoleným míjivým zatížením v ohybu  $\sigma_{DO} = 172$  MPa.



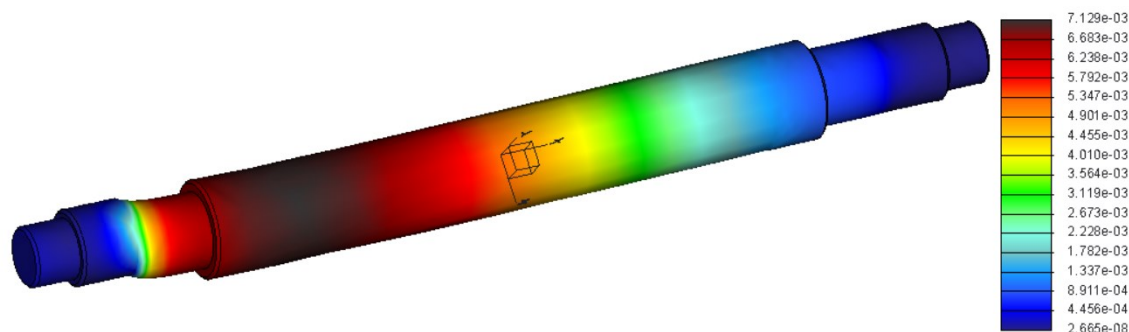
Obr. 3.4 Simulovaná hřídel s ložisky

Na obr. 3.5 vidíme výsledek pevnostní analýzy, kde je znázorněno místo s největším napětím. Napětí vyšlo 121,304 MPa.



Obr. 3.5 Zobrazení místa s největším napětím

Pro správnost výsledků je taktéž důležité zobrazit deformaci. Na obr. 3.6 je znázorněna deformační velikost hřídele. Největší průhyb hřídele je 0,0072 mm.



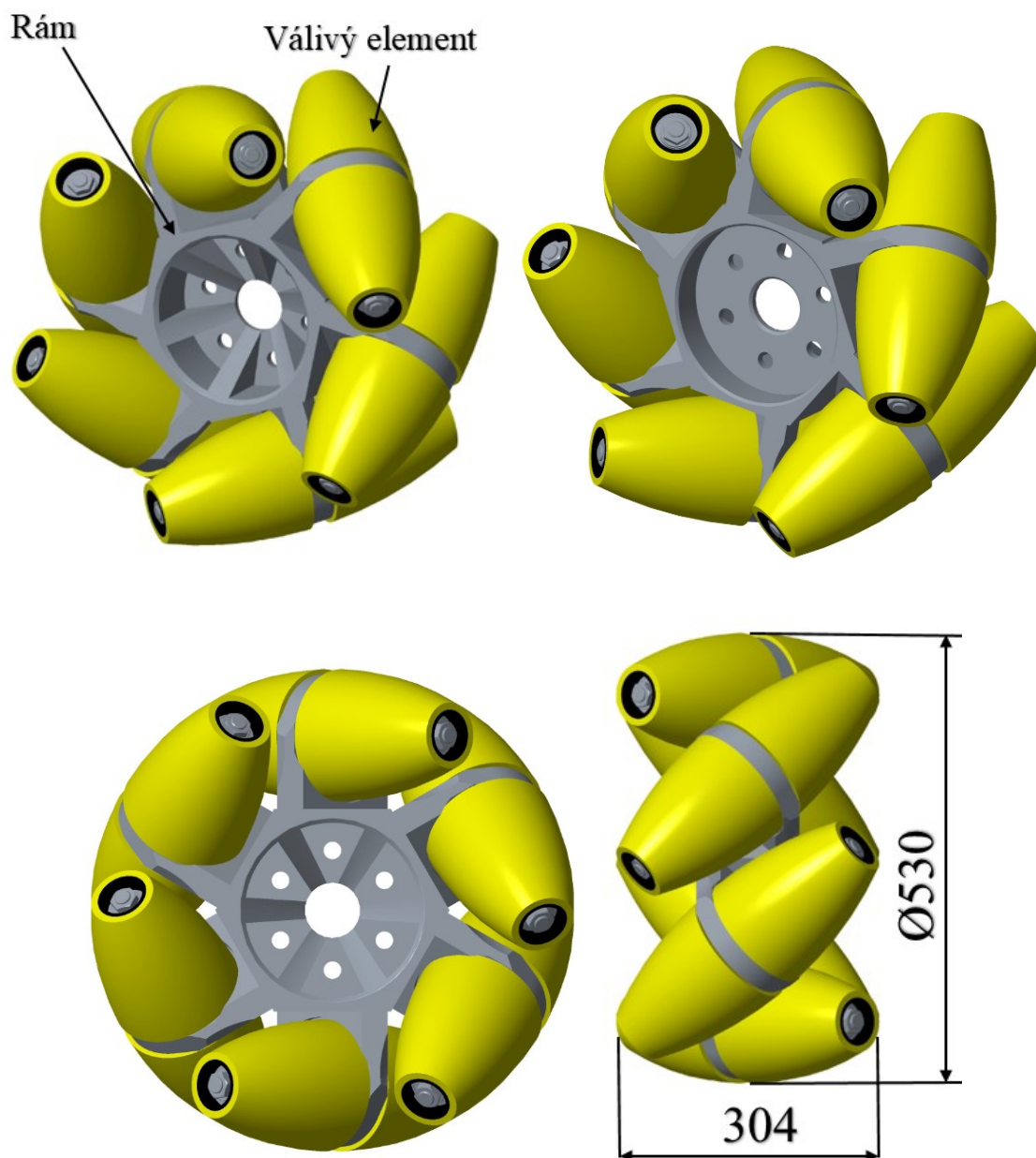
Obr. 3.6 Znázornění deformace hřídele

#### Zhodnocení analýzy

Na obr. 3.5 je znázorněn výsledek s největší hodnotou napětí 121,304 MPa, dovolené napětí na materiálu 11 600 je 172 MPa  $\rightarrow \sigma_o < \sigma_{DO} = 121,304 < 172 \rightarrow$  Vyhovuje

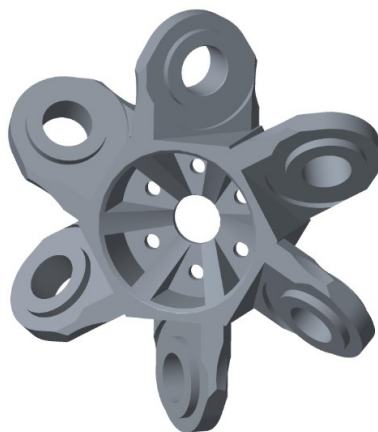
### 3.2 Varianta B

Opět se jedná o všesměrové kolo typu Illanator, ale s rozdělenými válivými elementy. Kolo má 6 válivých elementů, které jsou navrženy tak, aby každý element unesl 2000kg. Velikost kola je Ø530 x 304mm a jeho hmotnost je 150 kg (viz obr. 3.7).



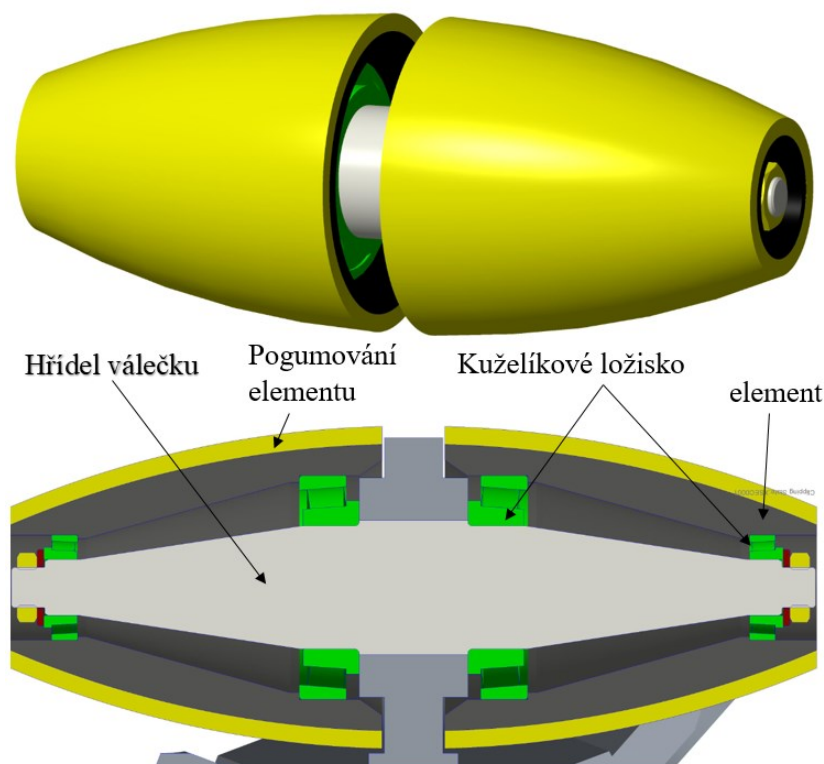
Obr. 3.7 Všesměrové kolo varianty B

Rám kola je vyroben z oceli, jde o jeden kus, který se vyrábí na CNC stroji a jeho hmotnost je 43 kg. Znázornění rámu všesměrového kola je na obr. 3.8.



*Obr. 3.8 Rám všesměrového kola varianty B*

Válivý element kola je rozdělený na dvě části a má elipsovitý tvar. Mezi nimi je nosný rám, který musí snést větší klopné momenty. Délka jedné části válivého elementu je 166 mm a jeho největší průměr je 146 mm. Hmotnost obou částí válečku i s hřídelí je 17,8 kg. Všechny komponenty kromě pogumované vrstvy se vyrábí z oceli. Pro zamezení nárazů a prokluzu na hladkých površích, je vrchní vrstva válečku opatřena pogumováním. Velikost pogumované vrstvy je 8mm. Tento typ bohužel způsobí, že kolo během otáčení vibruje, je to zapříčiněno mezerou mezi jednotlivými částmi válivých elementů. Velikost mezery je 28 mm. Jednotlivé komponenty válivého elementu jsou zobrazeny na obr. 3.9.

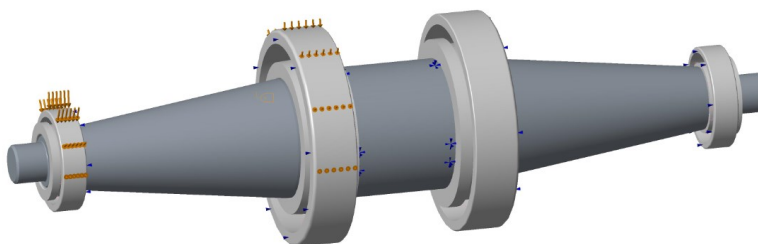


*Obr. 3.9 Váleček všesměrového kola varianta B*



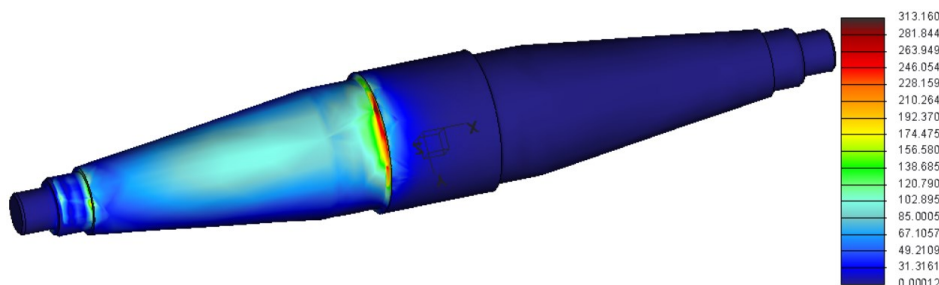
### 3.2.1 Pevnostní analýza hřídele varianty B

Pro variantu B byla také provedena pevnostní analýza, která bude zahrnuta při výběru optimální varianty. Na obr. 3.10 jsou znázorněny síly a reakce působící na hřídel válivého elementu a ložiskách. Pro danou hřídel byl vybrán materiál 11 700 s dovoleným míjivým zatížením v ohybu  $\sigma_{DO} = 190$  MPa.



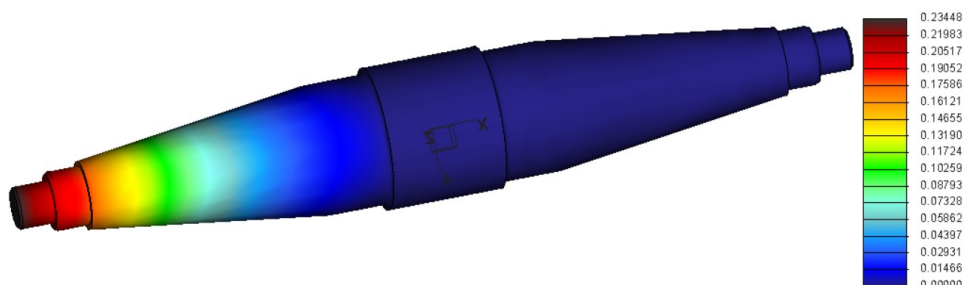
Obr. 3.10 Simulovaná hřídele s ložisky

Na obr. 3.11 vidíme výsledek pevnostní analýzy, kde je znázorněno místo s největším napětím. Napětí vyšlo 313,160 MPa. Tato velikost napětí je příliš vysoká a tudíž bude potřeba zvolit pro hřídel materiál s vyšší pevnosti v ohybu.



Obr. 3.11 Zobrazení místa s největším napětím

Pro správnost výsledků je také důležité zobrazit deformaci. Na obr. 3.12 je znázorněná deformační velikost, která je 0,23448 mm.



Obr. 3.12 Zobrazení deformace hřídele

#### Zhodnocení analýzy

Na obr. 3.11 je znázorněn výsledek s největší hodnotou napětí 313,071 MPa, dovolené napětí na materiálu 11 700 je 190 MPa  $\rightarrow \sigma_o < \sigma_{DO} = 313,071 > 172 \rightarrow$  Nevychovuje

Je potřeba zvolit buď to jiný materiál, nebo daný materiál zušlechtit.

## 4 Výběr optimální varianty

Pro výběr optimální varianty musí být navržené varianty porovnány mezi sebou pomocí kritériální analýzy. Jednotlivé navržené varianty budou porovnány na základě zvolených kritérií a jejich významnosti.

### 4.1 Hodnoty kritérií

Hodnocení probíhá podle stupnice: nepříznivý stav (1) až vysoká úroveň (6) viz Tab. 4.1

Tab. 4.1 Hodnoty kritérií

Hodnoty kritérií	
6	Vysoká úroveň
5	Dobrá úroveň
4	Průměrná úroveň
3	Nízká úroveň
2	Nevyhovující úroveň
1	Nepříznivý stav

Navržené varianty budou porovnány dle kritérií (viz Tab. 4.2.)

Tab. 4.2 Kritérií hodnocení

Označení	Kritéria	Charakteristika kritéria
K1	Pevnostní analýza	Velikost napětí na hřídeli
K2	Hmotnost	Hmotnost kompletního všesměrového kola
K3	Rozměry	Rozměr všesměrového kola
K4	Komfort jízdy	Jízda bez vibrací
K5	Jednoduchost montáže	Počet různých součástí a jejich složitost montáže

## 4.2 Hodnocení jednotlivých variant dle vybraných kritérií

Charakteristiky každé z variant dle vybraných kritérií jsou uvedeny v tab. 4.3

Tab. 4.3 Charakteristika variant

Varianta	Varianta A	Varianta B
K1	121,3	313,1
K2	139	131
K3	518x260	530x304
K4	Celistvý element (žádné vibrace)	Dělený element (jemné vibrace při otáčení)
K5	10 částí	10 částí

V tab. 4.4 je uvedeno celkové hodnocení variant dle stupnice (Tab. 4.1)

Tab. 4.4 Hodnocení variant

Varianta	Varianta A	Varianta B
K1	5	3
K2	2	4
K3	3	2
K4	3	2
K5	2	2

## 4.3 Stanovení významnosti kritérií

Hodnocení významnosti kritérií je znázorněno ve stupnici: nízká úroveň (1), vysoká úroveň (2) viz Tab. 4.5.

Tab. 4.5 Významnost kritérií

Významnost kritérií	
2	Vysoká úroveň
1	Nízká úroveň



Jednotlivá kritéria byla mezi sebou porovnána pro určení jejich významnosti viz Tab.

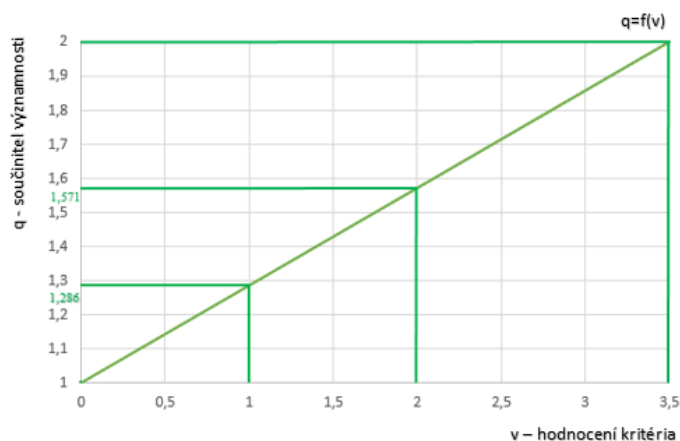
4.6.

Tab. 4.6 Porovnání kritérií

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb v	Pořadí
K1	K1	K1	K1	3,5	1
K2	K3	K4	K5		
	K2	K2	K2	2,5	2
	K3	K4	K5		
		K3	K3	1,5	3
		K4	K5		
			K4	1,5	3
			K5	1	4

#### 4.4 Určení součinitelů významnosti kritérií

Koeficient významnosti kritérií viz Tab. 4.7 byly určeny pomocí grafu obr. 4.1.



Obr. 4.1 Určení součinitelů významnosti kritérií

Tab. 4.7 Součinitel významnosti kritérií

Označení kritéria	Váha významnosti
K1	2
K2	1,714
K3	1,429
K4	1,429
K5	1,286

## 4.5 Výpočet vážených indexů variant

Pro každou variantu byly vypočítány sumy (tab. 4.8, 4.9) vážených indexů všech kritérií dle vzorce 4.1. Optimální varianta je pak ta, která má největší hodnotu sumy vážených indexů kritérií.

$$\sum S_{ij} = \sum (I_{ij} \cdot q_{ij}) \quad (4.1)$$

$S_{ij}$  je vážený index j-tého kritéria (A-1, B-2, C-3) i-té varianty,  $I_{ij}$  je index změny j-tého kritéria i-té varianty,  $q_{ij}$  je váha významnosti kritéria j-tého kritéria i-té varianty.

Tab. 4.8 Součet vážených indexů kritéria varianty A

Kritérium	Varianta A			
	Hodnocení	Váha významnosti kritéria $q_{ij}$	Index změny $I_{ij}$	Vážený index
K1	5	2	5	10
K2	2	1,714	2	3,428
K3	3	1,429	3	4,287
K4	3	1,429	3	4,287
K5	2	1,286	2	2,572
Součet vážených indexů kritéria				24,574

Tab. 4.9 Součet vážených indexů kritéria varianty B

Kritérium	Varianta B			
	Hodnocení	Váha významnosti kritéria $q_{ij}$	Index změny $I_{ij}$	Vážený index
K1	3	2	3	6
K2	4	1,714	4	6,856
K3	2	1,429	2	2,858
K4	2	1,429	2	2,858
K5	2	1,286	2	2,572
Součet vážených indexů kritéria				21,144

Tab. 4.10 Vyhodnocení kritériální analýzy

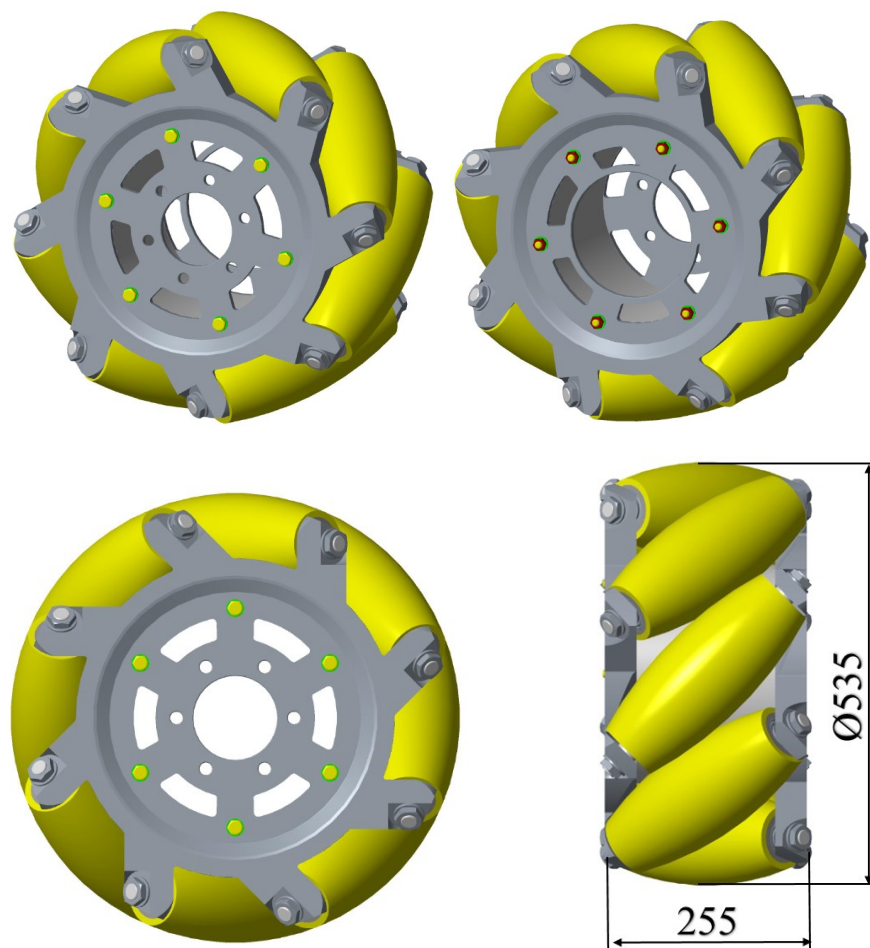
Varianta	Součet vážených indexů	Pořadí
Varianta A	24,574	1.
Varianta B	21,144	2.

## 4.6 Závěr analýzy

K výběru optimální varianty byla použita kritériální analýza. Z tab. 4.10 vyplývá, že jako optimální varianta se jeví varianta A, protože dosáhla největšího součtu vážených indexů kritéria.

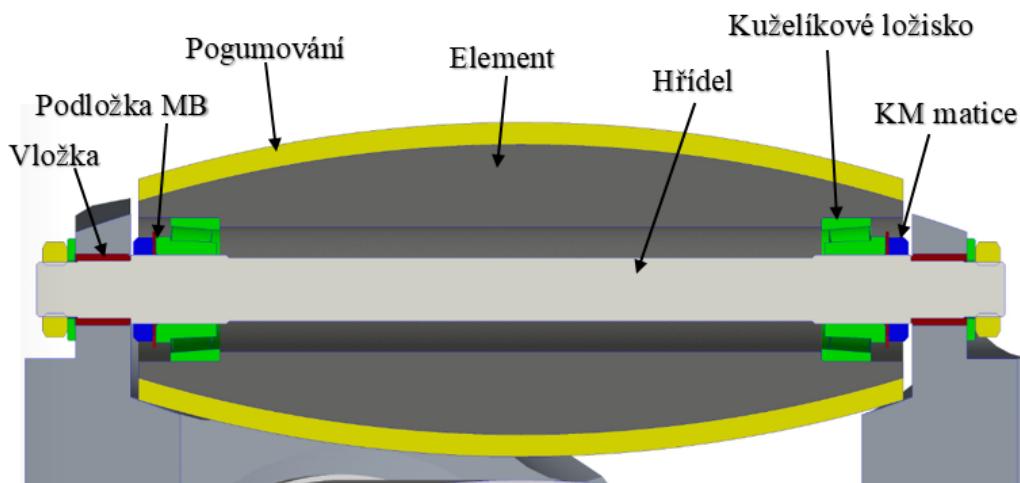
## 5 Optimální varianta

Na obr. 5.1 vidíme optimální variantu všesměrového kola po úpravě. Na nosném rámu všesměrového kola byly zhotoveny drážky a díry, které snížili hmotnost kola o 23 kg na dosavadní hmotnost 146 kg a zároveň nezpůsobili nedostatečnou tuhost rámu. Rozměry všesměrového kola se také změnili, nyní rozměry jsou Ø535 x 255 mm.



Obr. 5.1 Všesměrové kolo po úpravě

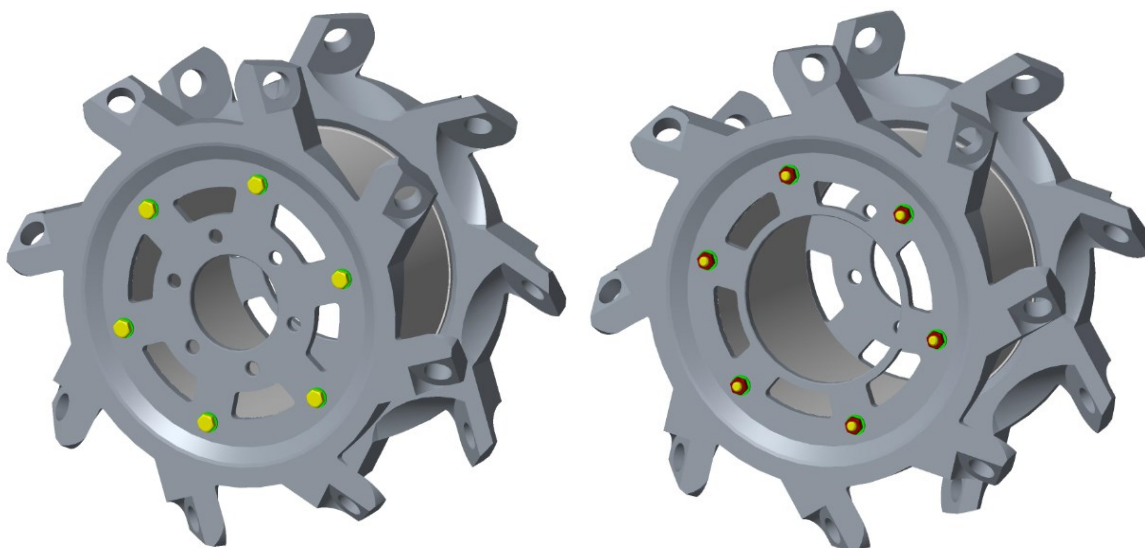
Úpravou prošla i válivá část, kde nyní místo dvouřadého kuličkového ložiska s kosoúhlým stykem (3205) je kuželíkové ložisko (33205F) pro dosažení větší únosnosti a větší životnosti. Kvůli změně ložiska musela být také upravena hřídel. Kuželíkové ložisko je nutné předeprnout určitou silou, kterou lze nastavit pomocí dvou KM maticí. Pro zabránění uvolnění KM matice vlivem menších vibrací, je matice pojištěna MB podložkou. Jednotlivé komponenty jsou znázorněny na obr. 5.2.



Obr. 5.2 Upravený válivý element

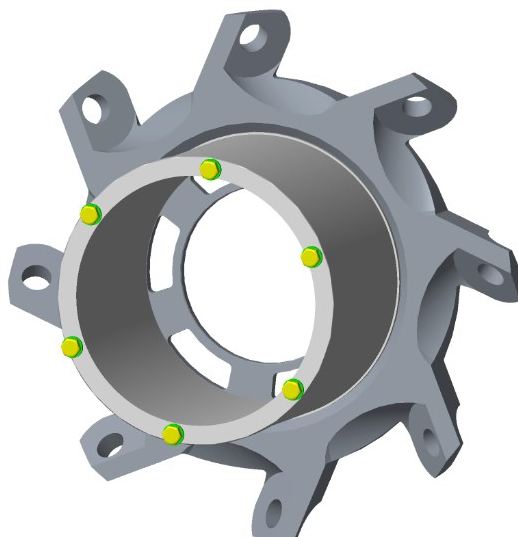
## 5.1 Rám všesměrového kola

Rám kola je složen ze 3 částí. Nosné části rámu byly upraveny k dosažení menší hmotnosti. Po odebrání přebytečného materiálu a zhotovení drážek, se hmotnost jedné části rámu snížila o 11,3 kg. Rám byl opatřen 6-ti šrouby M10 a pojistnou maticí. Úpravu rámu lze vidět na obr. 5.3.



Obr. 5.3 Úprava rámu všesměrového kola

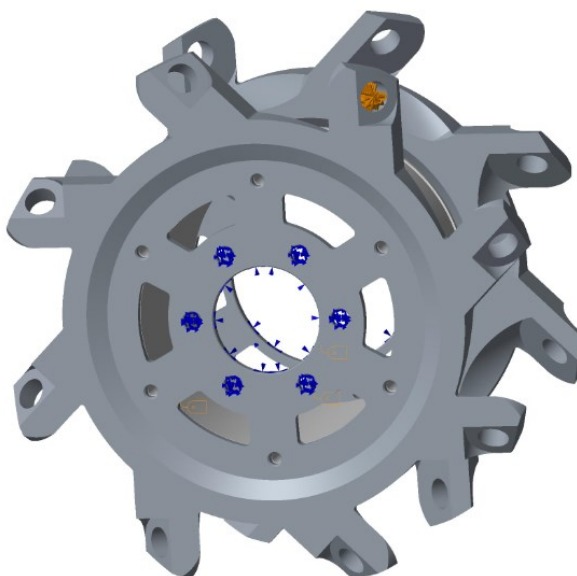
Vymezovací vložka, která drží nosné části rámu, prošla úpravou jen velikostně. Její délka se snížila o 5 mm a upravily se její rozměry. Vymezovací vložku lze vidět na obr. 5.4.



Obr. 5.4 Vymezovací vložka

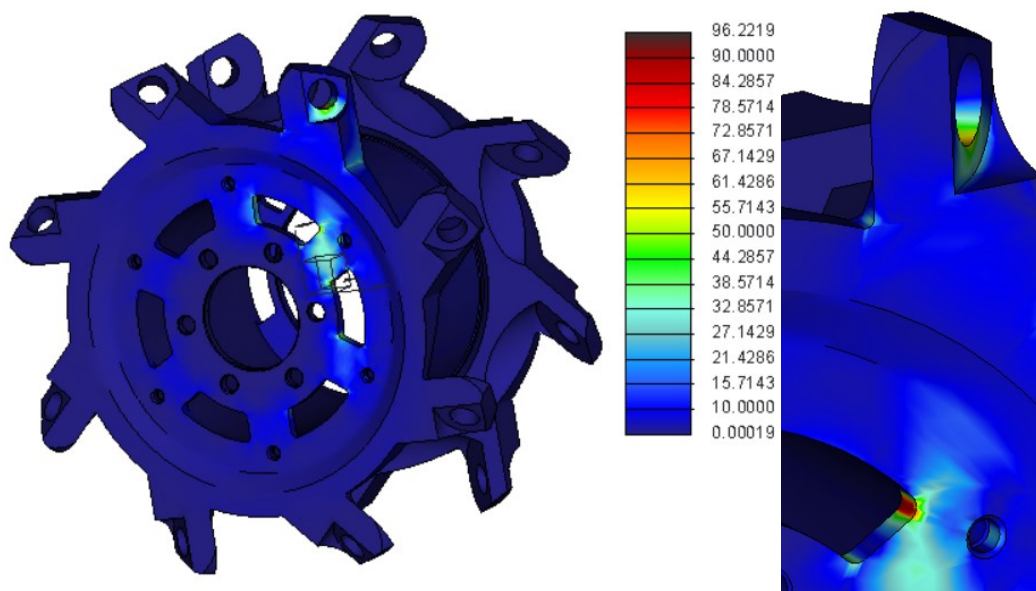
### 5.1.1 Pevnostní analýza rámu

Byla provedena pevnostní analýza rámu všesměrového kola. Na obr. 5.5 jsou znázorněny síly a reakce působící na rám kola. Nosný rám kola je z materiálu 11 523 s dovoleným míjivým zatížením v ohybu  $\sigma_{DO} = 150 \text{ MPa}$  a vymezovací vložka z materiálu 42 4005.



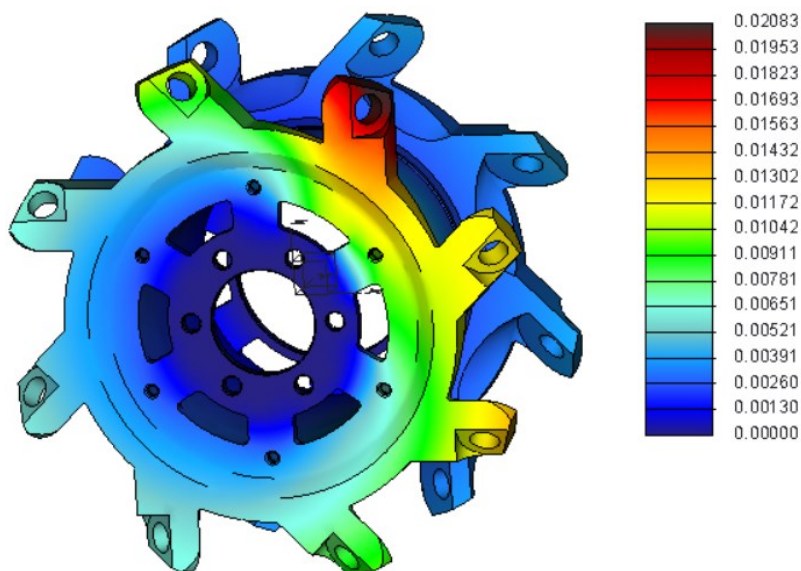
Obr. 5.5 Simulace rámu

Na obr. 5.6 vidíme výsledek pevnostní analýzy, kde je znázorněno místo s největším napětím. Místo s největším napětím je u drážky a v díře pro hřídel s hodnotou 96,2219 MPa.



Obr. 5.6 Zobrazení místa s největším napětím

Pro správnost výsledků je také důležité zobrazit deformaci. Na obr. 5.7 lze vidět průběh deformace rámu. Největší průhyb rámu je 0,02083 mm. Takový průhyb je povolený.



Obr. 5.7 Zobrazení deformace rámu

### Zhodnocení analýzy

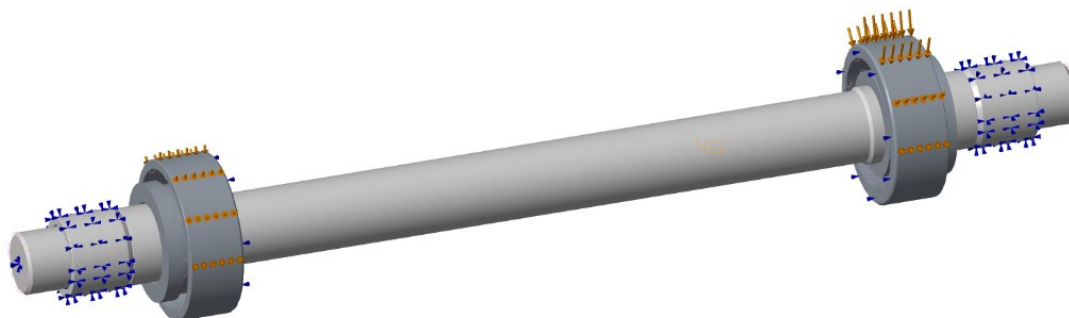
Na obr. 5.6 je znázorněn výsledek s největší hodnotou napětí 96,22 MPa, dovolené napětí na materiálu 11 523 je 150 MPa  $\rightarrow \sigma_o < \sigma_{D0} = 96,22 < 150 \rightarrow$  Vyhovuje

Pro správnost výsledků je nutné provést zátěžové zkoušky.



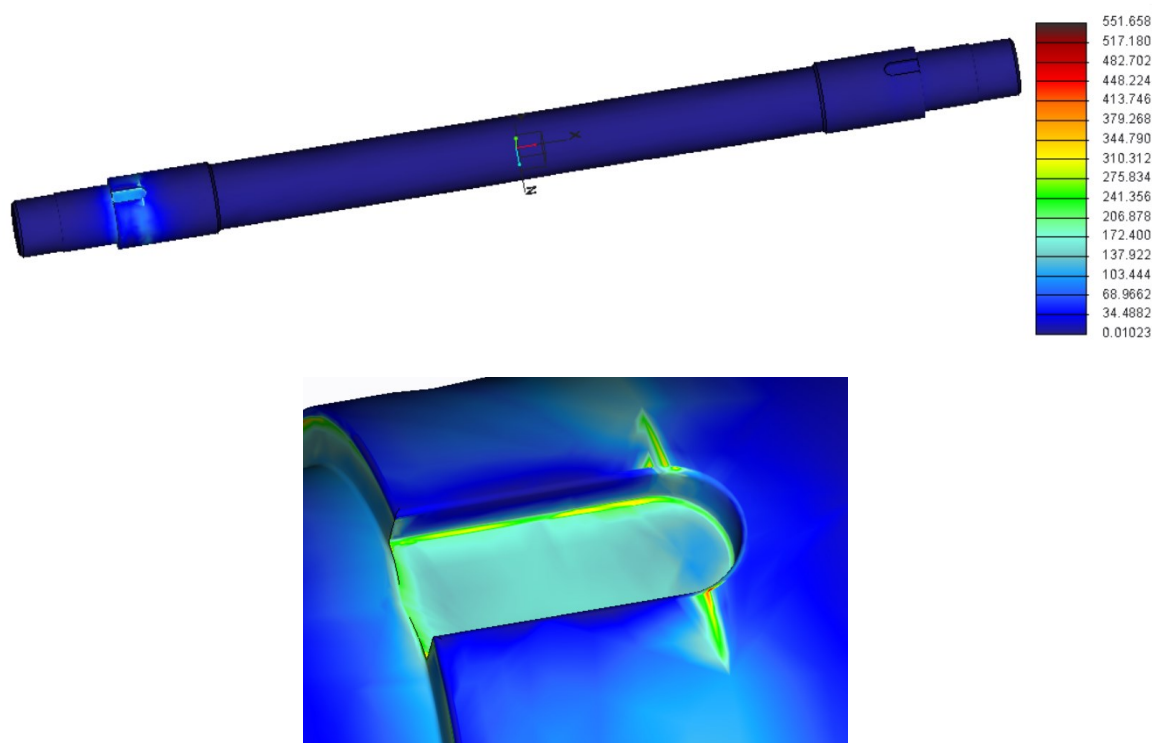
## 5.2 Pevnostní analýza hřídele

Na optimální variantě byla provedena pevnostní analýza. Na obr 5.8 jsou znázorněné síly a reakce, působící na hřídel válivého elementu a ložiskách. Levé ložisko je zatíženo silou 1,7 kN a pravé ložisko 18,3 kN. Pro danou hřídel byl vybrán materiál 11 700 s dovoleným míjivým zatížením v ohybu  $\sigma_{Do} = 190 \text{ MPa}$ .



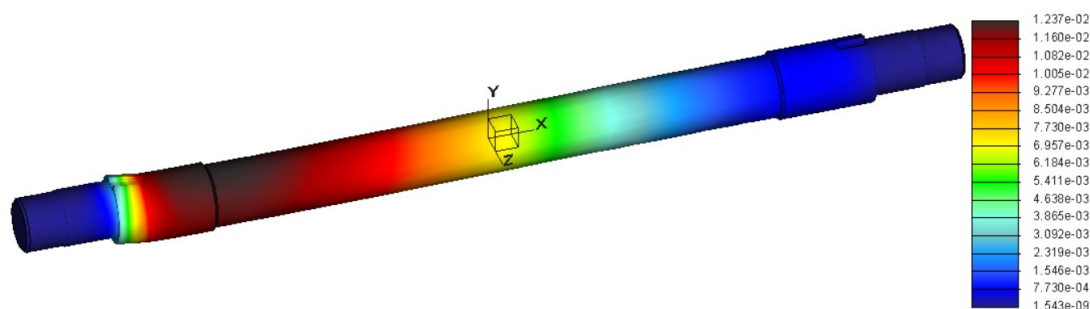
Obr. 5.8 Simulovaná hřídel s kuželovými ložisky

Na obr. 5.9 vidíme výsledek pevnostní analýzy, kde je znázorněno místo s největším napětím. Místo s největším napětím je u drážky s hodnotou 551,658 MPa. Tato velikost napětí je příliš vysoká, tudíž by bylo zapotřebí použít materiál s větším dovoleným napětím v ohybu. Dále tedy bude navržena další úprava válivého elementu. Výsledky analýz obou variant budou mezi sebou porovnány.



Obr. 5.9 Zobrazení pevnostní analýzy a místa s největším napětím

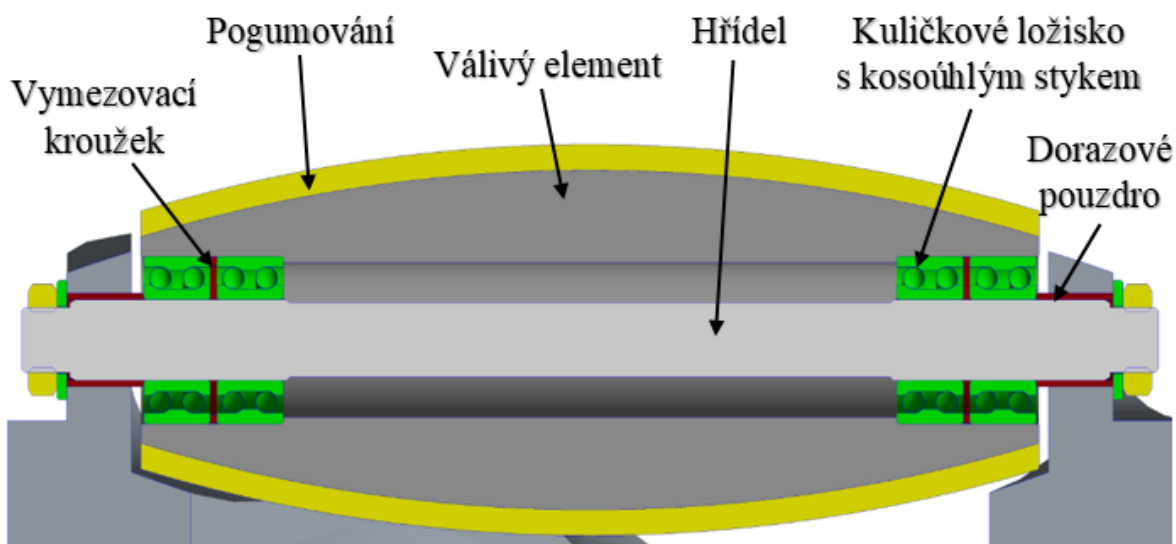
Pro správnost výsledků je také důležité zobrazit deformaci. Na obr. 5.10 lze vidět průběh deformace hřídele. Největší průhyb hřídele je 0,01237 mm. Takový průhyb je povolený.



Obr. 5.10 Zobrazení deformace hřídele

### 5.3 Úprava válivého elementu

Pro odstranění drážky, která slouží jako aretace podložky pro KM matici, je nutné změnit ložisko. Kdyby se použilo větší ložisko dvouřadé s kosoúhlým stykem, které má větší zatížení, bylo by nutné zvětšit válivý element. Tím pádem by došlo ke kontaktu jednotlivých elementů na všesměrovém kole a zamezila by se možnost jejich otáčení. Proto byla zvolena původní dvouřadá ložiska s kosoúhlým stykem (3205), ale s dvěma ložisky na jedné straně hřídele. Uložení je znázorněno na obr. 5.11.

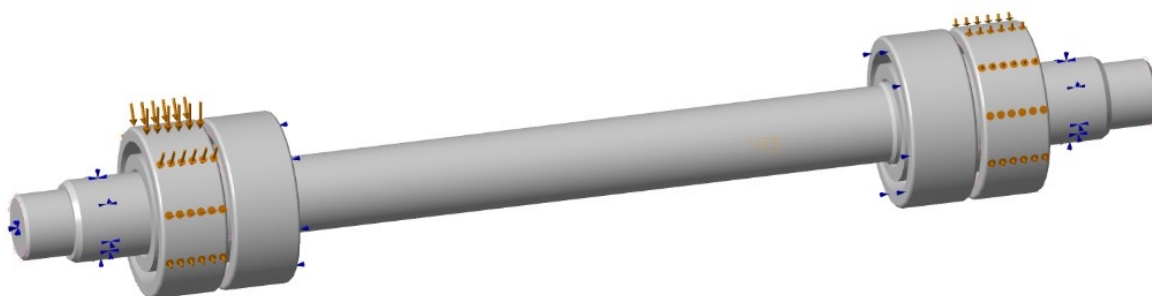


Obr. 5.11 Úprava hřídele pro dosažení vhodnější pevnostní analýzy

#### 5.3.1 Pevnostní analýza upravené hřídele

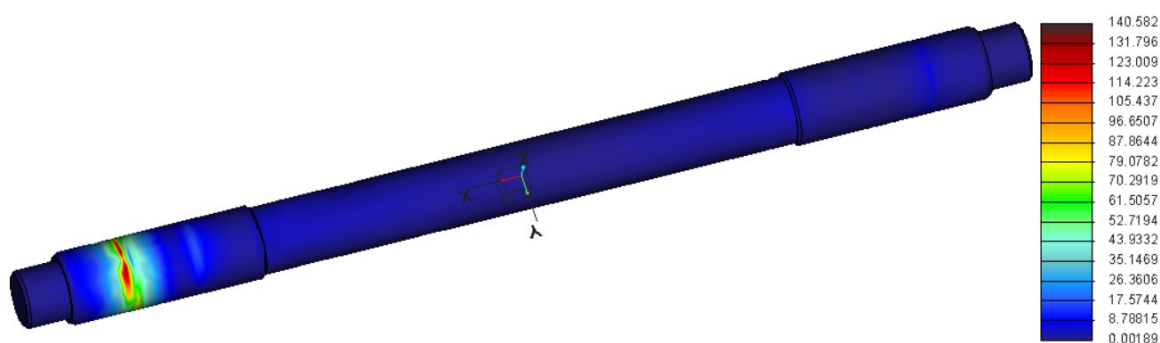
Na obr. 5.12 si můžeme všimnout, že působící síla je umístěna vždy jen na jedno ložisko, je to z důvodu toho, že jednotlivá ložiska jsou k sobě spojena pomocí vazby Rigid Link. Pro danou hřídel byl vybrán materiál 11 700 s dovoleným míjivým zatížením v ohybu  $\sigma_{DO} = 190$  MPa





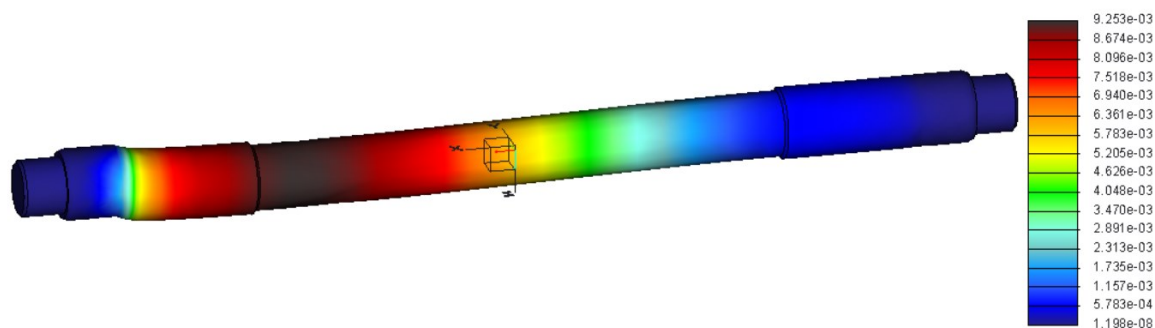
Obr. 5.12 Simulovaná hřídel s ložisky

Při takovém způsobu zatížení hřídele vyšlo maximální napětí 140,582 MPa. Takové napětí je vyhovující a není potřeba žádné další úpravy hřídele.



Obr. 5.13 Místo s největším místem napětí

Na obr. 5.14 vidíme maximální deformaci hřídele, který je 0,00925mm. Velikost deformace je dost malá a tudíž vyhovující.



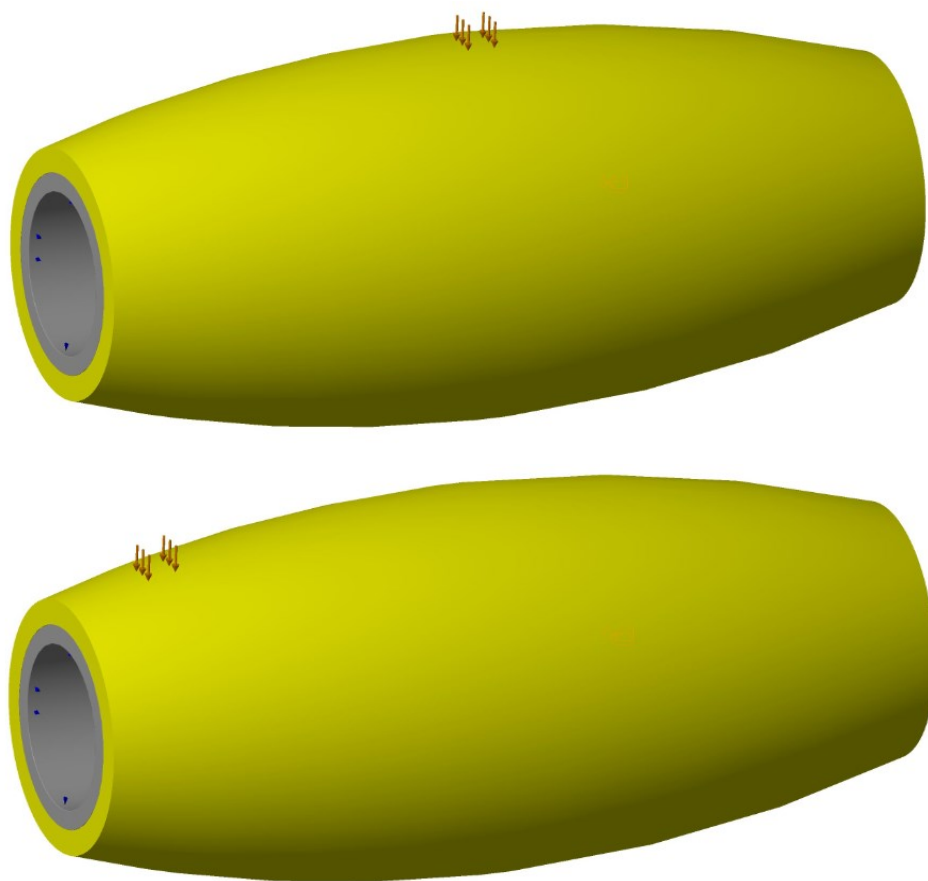
Obr. 5.14 Deformace hřídele

## 5.4 Zhodnocení pevnostních analýz hřídelí

Při porovnání obou analýz byl ve výsledku vybrán válivý element s kuličkovými ložisky. I když je zapotřebí více ložisek, což vede k nákladnějšímu způsobu, musí se brát v potaz, že varianta s kuželíkovými ložisky musí být opatřena KM maticí, hřídel musí být vyrobena z dražšího materiálu, který se následně zušlechťí pro větší pevnost. Na hřídeli se musí zhotovit závit pro KM maticí a drážka pro MB podložku. Kuželíkové ložiska nemají těsnění a při jejich montáži do válivého elementu je nutné nastavit předpětí. Ve výsledku by cena vzrostla, a tudíž se vybrala varianta s kuličkovými ložisky.

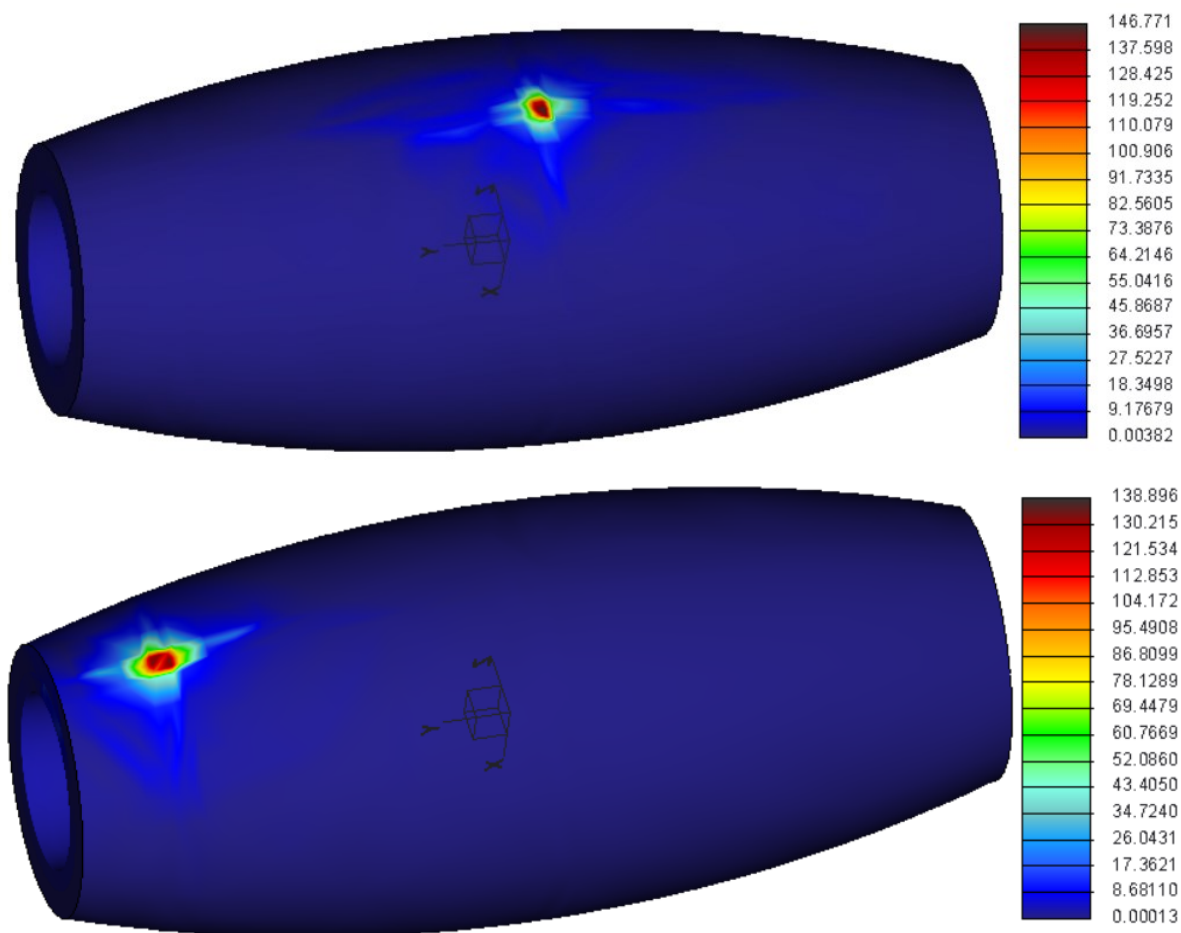
## 5.5 Pevnostní analýza válivého elementu

Byly provedeny dvě pevnostní analýzy válivého elementu. Na obr. 5.15 jsou zobrazeny dva stavy zatížení. Horní obrázek zobrazuje reakce a síly působící uprostřed válivého elementu a dolní zobrazuje reakce a síly působící v místě s největším zatížením ložisek. Element je navržen z materiálu 11 600 s dovoleným míjivým zatížením v ohybu  $\sigma_{DO} = 172 \text{ MPa}$  a pogumovaná vrstva elementu z materiálu polyformaldehyd.



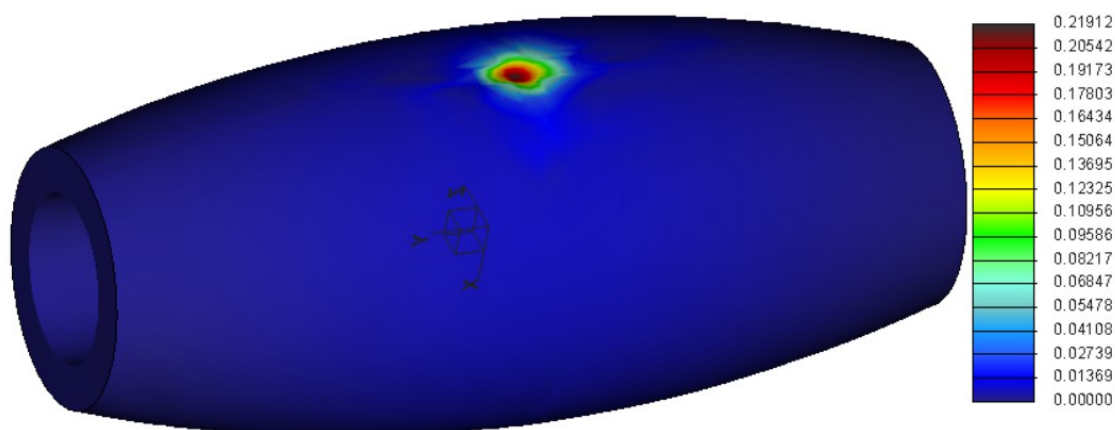
Obr. 5.15 Simulovaný válivý element

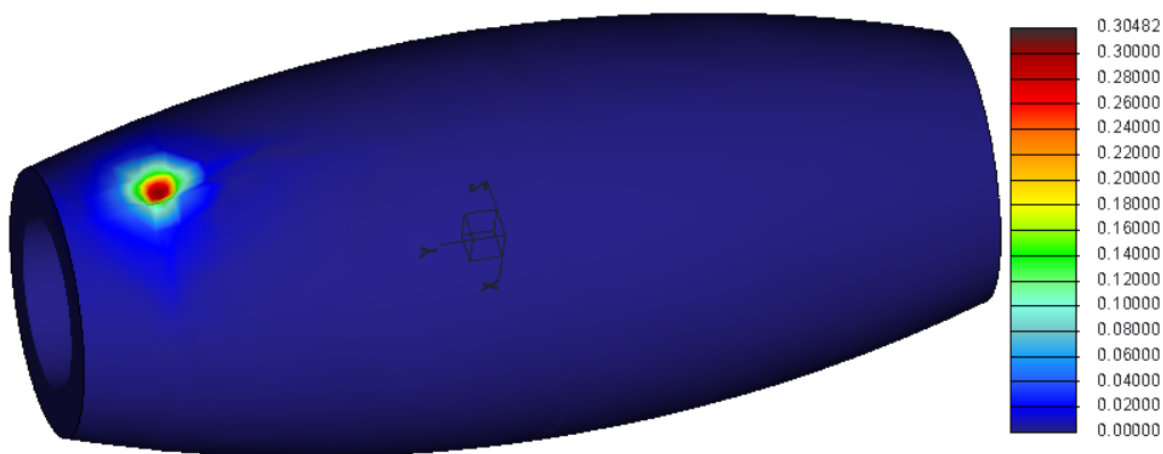
Na obr. 5.16 jsou opět zobrazeny dva obrázky s výsledkem pevnostních analýz. Zde jsou znázorněny místa s největším napětím. Na horním obrázku vyšlo napětí s hodnotou 146,771 MPa a na dolním obrázku vyšlo napětí s hodnotou 138,896 MPa.



Obr. 5.16 Místa s největším výskytem napětí

Zobrazené deformace na jednotlivých válivých elementech jsou na obr. 5.17. Na horním obrázku je velikost deformace 0,21912 mm a na dolním obrázku je velikost deformace 0,30482 mm. Velikosti deformací vyhovující pro daný materiál.





Obr. 5.17 Deformace válivého elementu

### Zhodnocení analýz válivých elementů

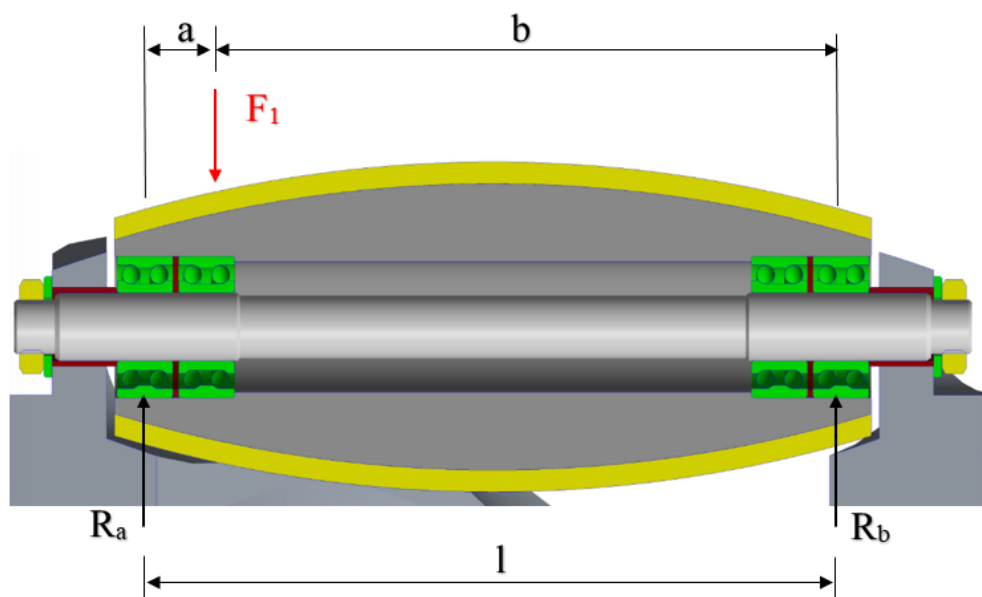
Výsledky pevnostních analýz vypadají slibně, ale tyto analýzy nelze brát jako vyhovující, tudíž je potřeba pro určení správnosti výsledků provést zátěžové zkoušky.

## **6 Výpočet ložisek a kontrolní výpočty hřídele a pouzdra**

Zde jsou uvedeny výpočty sil, které působí na ložiska válivých elementů a pomocí nich můžeme provést kontrolní výpočty hřídele a pouzdra.

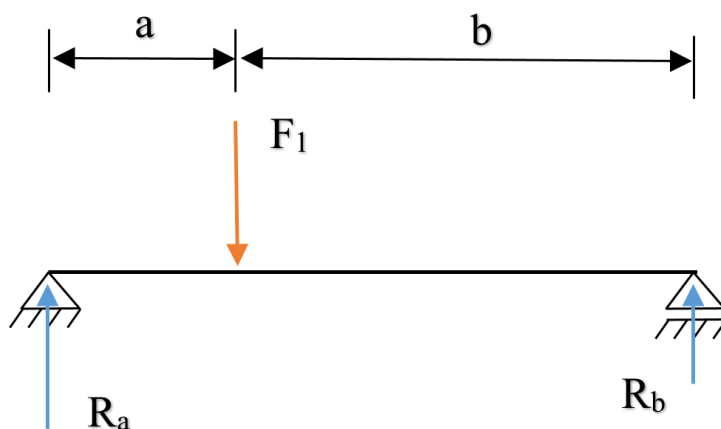
### **6.1 Výpočet síly působící na ložiska**

Na obr. 6.1 je znázorněná síla působící na válivý element v nejkritičtějším okamžiku.



Obr. 6.1 Znázornění působící síly na válivý element

Pro výpočet reakce v ložiscích bylo dané zatížení převedeno na nosníkovou konstrukci, která je zobrazena na obr. 6.2



Dáno:

$$a = 20 \text{ mm}$$

$$b = 215,8 \text{ mm}$$

$$F_1 = 20 \text{ kN} = 20\,000 \text{ N}$$

$$R_a = ?$$

$$R_b = ?$$

$$l = 235,8 \text{ mm}$$

Obr. 6.2 Působení sil na rameno se šroubem

#### Výpočet reakce na ložiscích

$$R_a = -F_1 \cdot a + R_b \cdot (a + b) \quad (6.1)$$

$$R_b = F_1 \cdot b - R_a \cdot (a + b) \quad (6.2)$$

$$R_a = -F_1 \cdot a + (F_1 \cdot b - R_a \cdot (a + b)) \cdot (a + b) \quad (6.1)$$

$$R_a = -20\,000 \cdot 20 + (20\,000 \cdot 215,8 - R_a \cdot (20 + 215,8)) \cdot (20 + 215,8) \quad (6.1)$$

$$R_a = -400\,000 + (4\,316\,000 - R_a \cdot 235,8) \cdot 235,8 \quad (6.1)$$

$$R_a = -400\,000 + 1\,017\,712\,800 - R_a \cdot 55\,601,64 \quad (6.1)$$

$$R_a = \frac{-400\,000 + 1\,017\,712\,800}{55\,601,64} = 18\,296,5 \text{ N} \quad (6.1)$$

$$R_b = F_1 \cdot b - R_a \cdot (a + b) \quad (6.2)$$

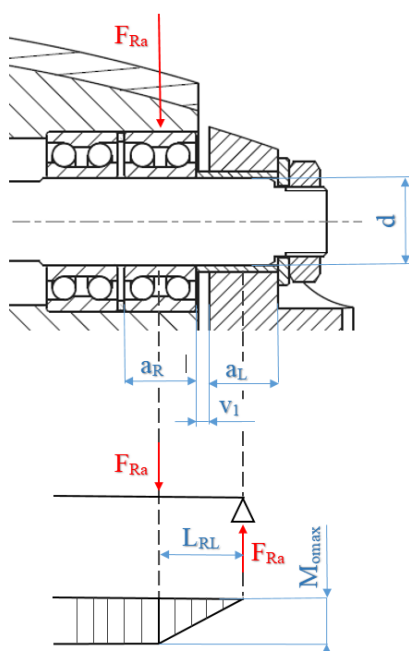
$$R_b = 20\,000 \cdot 215,8 - 18\,296,5 \cdot (20 + 215,8) = 1\,685,3 \text{ N} \quad (6.2)$$

$$R_b = 1\,685,3 \text{ N} \quad (6.2)$$

Na namáhaný válivý element působí síla 20 kN, z výpočtů se zjistilo, že na jedné straně bude reakce v ložisku 18,3 kN a na druhé straně bude reakce v ložisku 1,7 kN.

## 6.2 Kontrolní výpočty hřídele a pouzdra

Hřídel je vyrobena z oceli 11 700. Mezi hřídelí a rámem je umístěno pouzdro, které je kontrolováno na otláčení. Pouzdro je vyrobeno z materiálu 11 600. Síla  $F_{Ra}$  je vzata ze vzorce 6.1, tudíž se velikost síly  $F_{Ra}$  rovná síle  $R_a$ . Schéma namáhané hřídele je zobrazeno na obr. 6.3.



Dáno:

$$F_{Ra} = 18\,300 \text{ kN}$$

$$d = 25 \text{ mm}$$

$$a_R = 22 \text{ mm}$$

$$a_L = 20 \text{ mm}$$

$$v_1 = 3 \text{ mm}$$

$$R_e = 570 \text{ MPa}$$

$$p_D = 120 \text{ MPa}$$

Obr. 6.3 Schéma namáhání hřídele

### Kontrola průměru hřídele na ohyb

$$L_{RL} = \frac{a_R}{2} + v_{RL} + \frac{a_L}{2} = \frac{20}{2} + 3 + \frac{22}{2} = 24 \text{ mm} \quad (6.3)$$

$$\sigma_o = \frac{32 \cdot M_{omax}}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot F_1 \cdot L_{RL}}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 18300 \cdot 24}{\pi \cdot 25^3} = 286,3 \text{ MPa} \quad (6.4)$$

$$\sigma_o = \frac{R_e}{k_{\zeta 1}} \rightarrow k_{\zeta 1} = \frac{R_e}{\sigma_o} = \frac{570}{286,3} = 2 \rightarrow \text{hřídel vyhovuje} \quad (6.5)$$

### Kontrola otláčení pouzdra

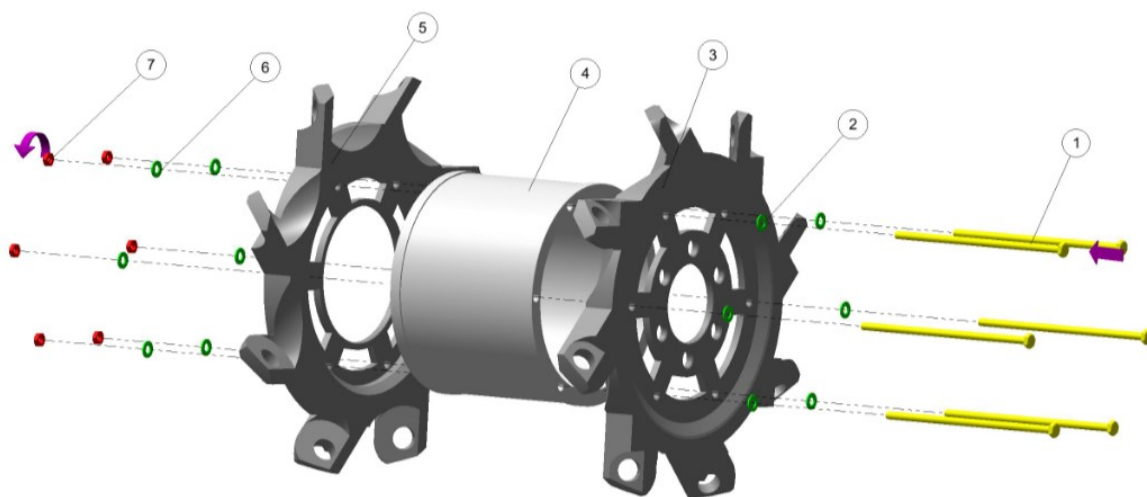
$$p_1 = \frac{F_1}{S} = \frac{18300}{d \cdot a_R} = \frac{18300}{25 \cdot 20} = 36,6 \text{ MPa} < 120 \text{ MPa} \rightarrow \text{pouzdro vyhovuje} \quad (6.6)$$

## 7 Montáž všesměrového kola

Tato kapitola se zabývá montáží jednotlivých podsestav všesměrového kola, jako je rám, váleček a celek. Montážní postup je důležitý pro správné uložení jednotlivých částí.

### 7.1 Montáž rámu

Na obr. 7.1 vidíme postup montáže podstavy rámu. Rám se skládá ze 3 částí, rám kola, rám kola 1 a vymežovací vložka. Všechny tyto části jsou k sobě spojeny pomocí šroubu M10x250, podložky a pojistné matice.

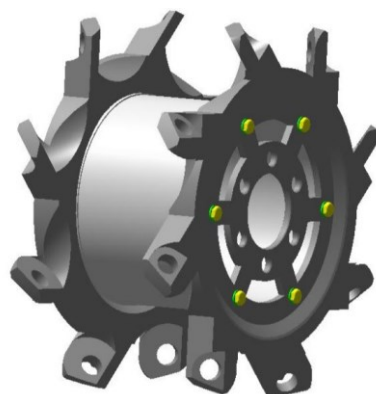


Obr. 7.1 Montáž podstavy rámu

#### Postup:

- 1) Krok – Na šroub M10 vložít podložku.
- 2) Krok – Šroub s podložkou prostrčit první dírou rámu kola.
- 3) Krok – Vymežovací vložku nasadit na šroub umístěného v rámu kola.
- 4) Krok – Na šroub umístěného v rámu a vložce nasadit rám kola 1 tak, aby pomyslné osy děr v obou rámu na váleček se překrývaly.
- 5) Krok – Na šroub nasadit podložku a matici (matici nedotahovat, jen pojistit proti vypadnutí).
- 6) Krok – Do zbývajících děr vložít ostatní šrouby s podložkou a maticí.
- 7) Krok – Všechny matice dotáhnou (do kříže s momentem 48 Nm).

Po dokončení všech předcházejících kroků je výsledkem smontovaný rám, který je zobrazen na obr. 7.2.



Obr. 7.2 Smontovaný rám

## 7.2 Montáž válivého elementu

Na obr. 7.3 vidíme postup montáže podstavy válivého elementu. Válivý element se skládá ze 3 různých částí, pogumovaný válivý element, ložisko a vymezovací podložka.



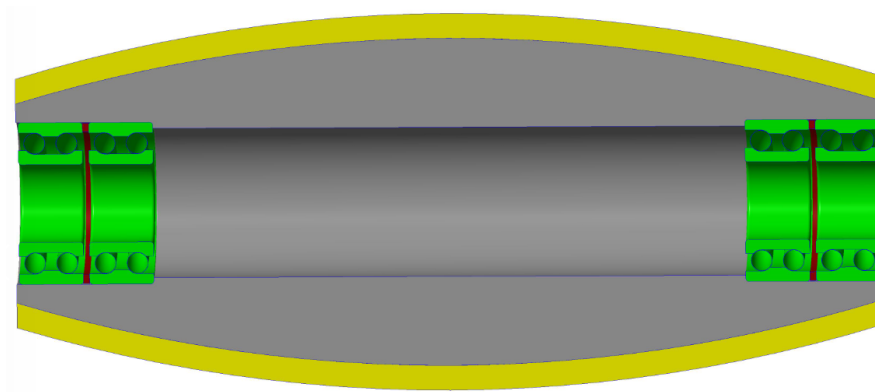
Obr. 7.3 Montáž podstavy rámu

### Postup:

- 1) Krok – Do válivého elementu nalisujeme ložisko.
- 2) Krok – Za nalisované ložisko vložíme vymezovací podložku.
- 3) Krok – Nalisujeme druhé ložisko.
- 4) Krok – Tyto kroky opakujeme pro druhou stranu.

Po dokončení všech předcházejících kroků je výsledkem smontovaný váleček, který je zobrazen na obr. 7.4.

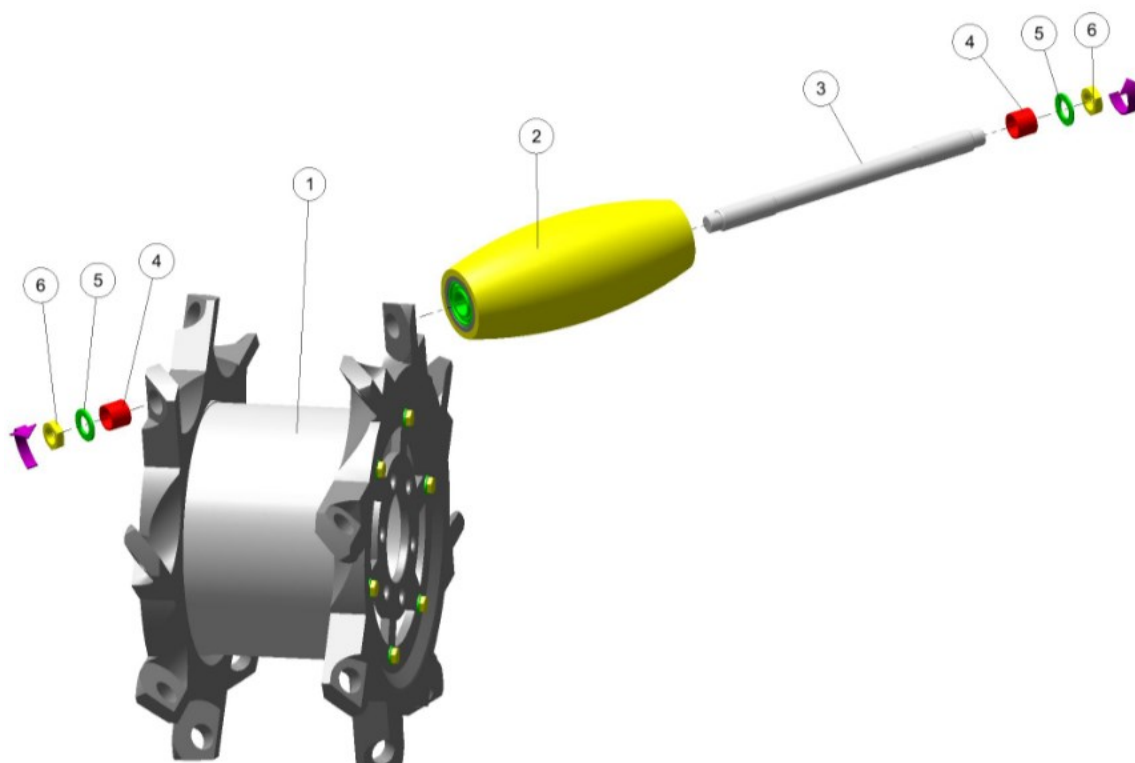




Obr. 7.4 Smontovaný válivý element

### 7.3 Montáž celku

Na obr. 7.5 vidíme postup montáže celku. Pro uložení s montovaného válečku do rámu je zapotřebí 4 různých částí (hřídel, pouzdro, podložka a pojistná matice).



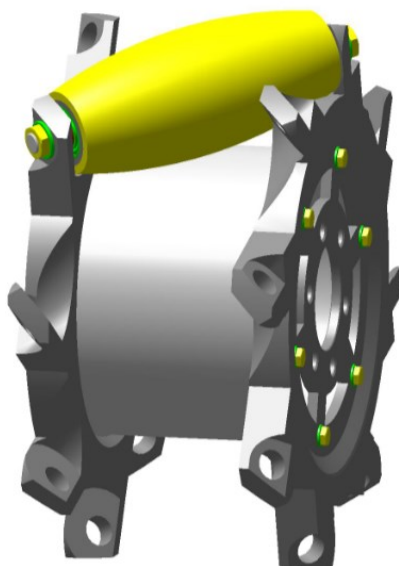
Obr. 7.5 Montáž celku

#### Postup:

- 1) Krok – Váleček vložíme mezi zhotovené díry pro hřídel.
- 2) Krok – Do otvoru v rámu pro hřídel vložíme hřídel, která prochází válečkem (hřídel nastavíme do středu rámu).

- 3) Krok – Mezi hřídel a otvorem pro hřídel vložíme pouzdro, které se zastaví o ložisko ve válečku.
- 4) Krok – předchozí krok provedeme i pro druhou stranu.
- 5) Krok – na obě strany hřídele nasadíme podložky a matice (matice se utahují postupně na utahovací moment 250 Nm).

Po dokončení všech předcházejících kroků je výsledkem smontovaný celek, který je zobrazen na obr. 7.6.



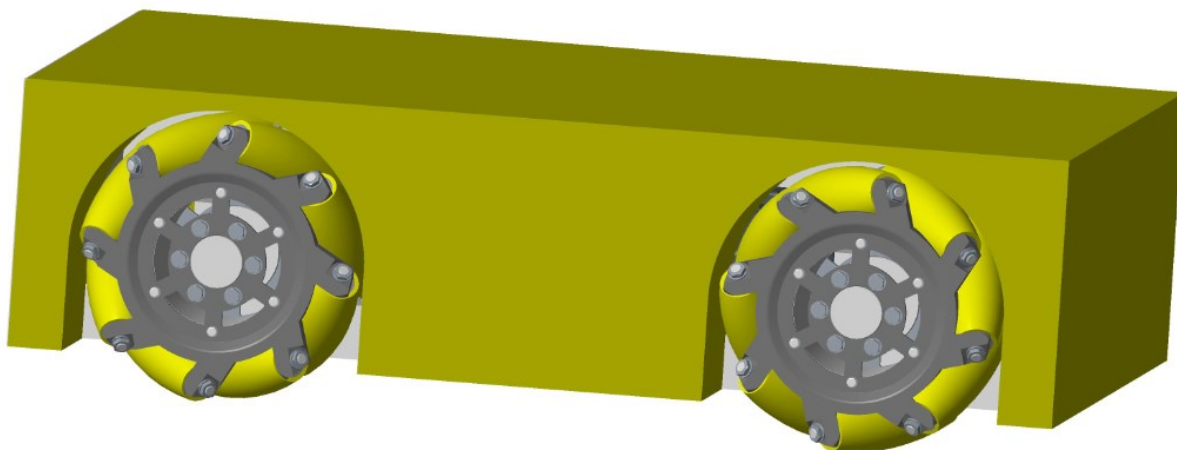
Obr. 7.6 Smontovaný celek

## 8 Požadavky na provoz a údržbu

Zde je znázorněno všesměrové kolo umístěné na podvozku a také opačně orientované všesměrové kolo pro správnou funkci. Kompletní technické dokumentace včetně návodů na obsluhu a údržbu.

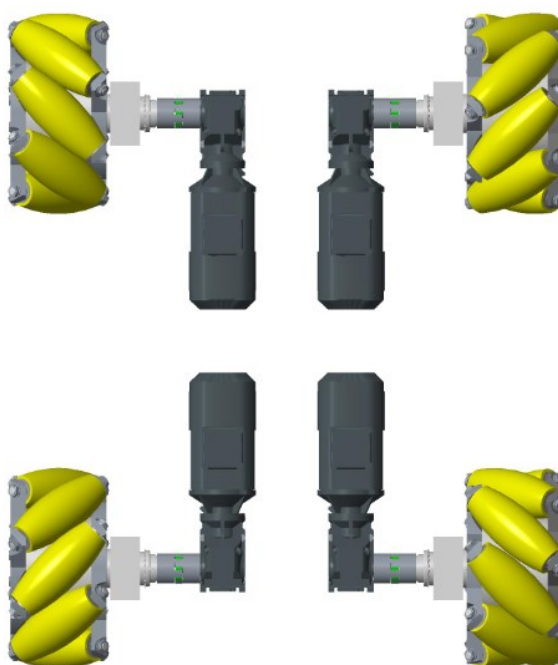
### 8.1 Ukázka použití všesměrového kola na podvozku

Na obr. 8.1 lze vidět umístění všesměrového kola na podvozku. Jedná se o podvozek plošinového transportéru.



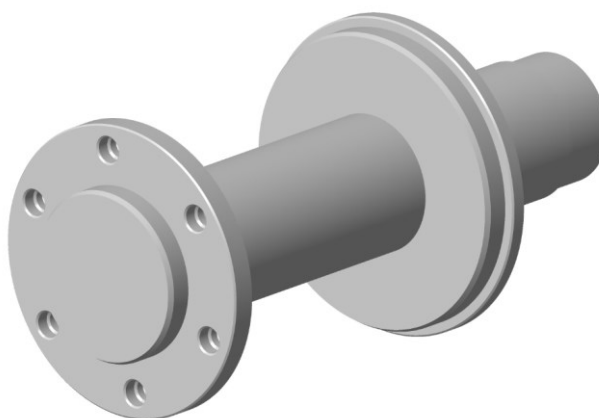
Obr. 8.1 Ukázka použití kola na podvozku

Na obr. 8.2 je zobrazen podvozek bez krytů a rámu, pro aplikování všesměrového kola na podvozku, bylo zapotřebí vytvořit opačně orientované kolo. Toto kolo je nutné pro dosažení správného fungování celého podvozku.



Obr. 8.2 Zobrazení umístění motorů

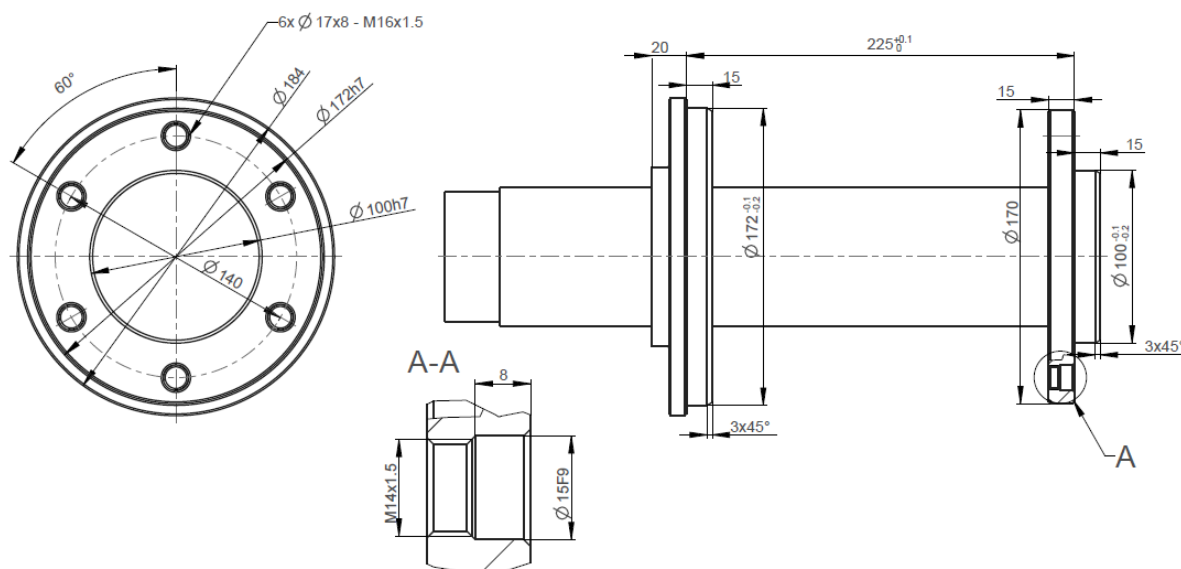
Pro všesměrové kolo byla navržena nosná hřídel. Tato hřídel se vloží na předem připravené místo na podvozku a pomocí KM matice zajistí. Na hřídel se pak vloží všesměrové kolo a zafixuje pomocí šesti lícovaných šroubů M16. Znázorněno na obr. 8.3.



Obr. 8.3 Navržená připojovací hřídel všesměrového kola

## 8.2 Připojovací rozměry na všesměrové kolo

Pro připojení kola na podvozek je nutné vyrobit hřídel s danými rozměry. Neokótované části nejsou důležité. Rozměry nosné hřídele lze vidět na obr. 8.4.



Obr. 8.4 Rozměry nosné hřídele všesměrového kola

## 8.3 Údržba všesměrového kola

Aby byla zaručena správná činnost všesměrového kola, je nutné provádět pravidelnou údržbu. Bez dodržení pravidelné údržby by mohly nastat nežádoucí problémy, které by vedly k poškození všesměrového kola. Části, které si vyžadují pravidelnou údržbu, jsou popsány v tab. 8.1.

Tab. 8.1 Údržba částí všesměrového kola

Komponent	Interval	Popis
Kontrola šroubů	1 ročně	Kontrola dotažení šroubů fixujících kolo s připojovací hřídelí (133 Nm)
Kontrola šroubů M10	1 ročně	Kontrola dotažení šroubů fixujících rám kola (48 Nm)
Kontrola matice válivého elementu	1 ročně	Kontrola dotažení matice fixující válivý element s rámem (250 Nm)
Kontrola pogumované vrstvy válivých elementů	1 denně	Kontrola pogumované vrstvy válivých elementů, z důvodů jeho možného popraskání
*Kontrola ložisek	1 za 3 roky	Kontrola přepětí ložisek a jejich stavů

\*kontrolu provádí odborný servis

## 9 Ekonomické zhodnocení

Pro jednotlivé podsestavy všesměrového kola byly vytvořeny hrubé odhady výrobních a nákupních cen jednotlivých komponentů.

### 9.1 Náklady za rám kola

V tab. 9.1 jsou zobrazeny náklady, které budou potřeba pro zhotovení rámu kola. Všechny ceny jsou pouze hrubý odhad.

Tab. 9.1 Náklady za rám kola

Název	Polotovar	Cena bez DPH
		obrábění + polotovar
2x Rám kola	Ø530 x 40	40 000
Vymezovací rám	Ø285 x 220	10 000
Celkem		50 000

## 9.2 Náklady za valivý element

V tab. 9.2 jsou stanoveny náklady pro výrobu jednotlivých částí válivého elementu.

Tab. 9.2 Náklady pro váleček

Název	Polotovar	Cena bez DPH
		obrábění + polotovar
8x Válivý element	Ø110 x 300	13 000
16x Vymezovací kroužek	Ø60 x 10	1 600
16x Vložka	Ø30 x 30	4 000
8x Hřídel	Ø28 x 355	11 000
Celkem		29 600

V tab. 9.3 jsou náklady ložisek převzaty od prodejce a hrubý odhad pogumování elementu.

Tab. 9.3 Náklady za ložiska a pogumování elementu.

Název	Cena bez DPH
8x Pogumování	2 700
32x Ložisko	22 200
celkem	24 900

Po sečtení všech jednotlivých cen v tabulkách vyšla cena za všesměrové kolo 104 500 Kč bez DPH.

## 10 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout koncepční řešení všesměrového kola pro vysoká zatížení.

Úvod diplomové práce se zabývá řešením všesměrových kol, které se vyskytují v současnosti na trhu. Byla nalezena široká škála všesměrových kol v různých velikostech a provedení.

Na základě zadání a získaných informací byly stanoveny požadavky, které musí splňovat vytvořené varianty všesměrových kol. Byly navrženy 2 varianty, které se neliší typem všesměrového kola, ale pouze provedením válivých elementů a rámu. Pro obě kola byla stanovena kritéria, ze kterých se vybrala optimální varianta.

Optimální variantou se stal návrh s celistvými válivými elementy, které měly výhodu, že při odvalování kola nedochází k vibracím. Vybraná varianta prošla různými úpravami pro snížení hmotnosti a zvýšení životnosti ložisek. Byly navrženy dvě varianty pro válivý element, které se podrobily pevnostní analýzou. Pevnostní analýza se prováděla v simulačním modulu programu PTC Creo, kde z výsledků bylo možné určit správnost řešení. Pro výběr řešení válivého elementu bylo nutné počítat i s cenovou hodnotou. Po zvážení byla nakonec vybrána varianta s kuželíkovými ložisky, která vychází z pohledu ceny lépe. Pro určení správného návrhu rámu kola, byla také provedena pevnostní analýza.

Výpočtová část se zabývá výpočtem ložisek. Pomocí nichž byly zjištěny velikosti síly působící na ložiska válivého elementu. Z nejvyšší velikosti síly byla vybrána ložiska.

V montážní části jsou zobrazeny jednotlivé kroky, kterými je nutné se řídit při montáži všesměrového kola. Jednotlivé obrázky byly zhotoveny v programu PTC Creo Illustrate. Jsou zde popsány jednoduché kroky rámu všesměrového kola, válivého elementu a také vložení válivého elementu do rámu všesměrového kola.

Kapitola požadavků na provoz a údržbu se zabývá využitím všesměrového kola na podvozku. Pro ukázkou podvozku se všesměrovými koly, byla provedena optimální varianta s opačnou orientací válivých elementů. V kapitole je také zobrazeno umístění motorů s převodovkou a rozměry připojovací hřídele.

Na závěr práce jsou uvedeny ekonomické náklady na výrobu a koupi jednotlivých komponentů všesměrového kola. Tyto cenové náklady jsou pouze hrubý odhad, tudíž se nedají brát jako výsledná cena.



### **Poděkování**

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Ladislavu Kárníkovi, CSc. za cenné rady, připomínky a poskytnuté konzultace v průběhu přípravy diplomové práce. Děkuji také své rodině a všem těm, kteří mne po celou dobu mého studia morálně a finančně podporovali.

## 11 Použitá literatura

- [1] KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. VŠB-TU.Ostrava, 2004. 144 s. ISBN 80-248-0626-6.
- [2] 48mm Plastic Omni Wheels. *The Robot Source* [online]. [cit. 2018-04-16].  
Dostupné z: <https://therobotsource.com/shop-for-wheels-tracks-omni-wheels-mecanum-wheels-for-building-robots/218-48mm-plastic-omni-wheel-for-lego-nxt-nx-80141.html>
- [3] Omni wheel. *Wikipedie* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Omni\\_wheel](https://en.wikipedia.org/wiki/Omni_wheel)
- [4] The advantages of omni-directional wheels. *Dynamoto* [online]. [cit. 2018-04-16].  
Dostupné z: <https://www.dynamotousa.com/blogs/news/the-advantages-of-omni-directional-wheels>
- [5] 100mm Omnidirektionales Rad. *RobotShop* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z:  
<https://www.robotshop.com/de/de/100mm-omnidirektionales-rad-messinglager-fur-rollen.html>
- [6] Mecanum wheels. *Electronics* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <https://core-electronics.com.au/mecanum-wheels-4-pack.html>
- [7] Vex Mecanum wheels 100mm. *Rapid* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z:  
<https://www.rapidonline.com/vex-mecanum-wheel-100mm-4-inch-pack-of-4-70-6234>
- [8] Omnidirectional wheels. *RobotSystem* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z:  
<http://www.robotsystem.cz/en/vsesmerove-kolo/p-6/>
- [9] 100mm Right Mecanum Wheel with Bearing Rollers. *Warburton Technology* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z:  
<http://www.warburtech.co.uk/products/robotics/mecanum.wheels/nexus.14092.100mm.right.aluminium.mecanum.wheel/>
- [10] SparkFun. *RoboSavvy* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z:  
<https://robosavvy.com/store/sparkfun-mecanum-wheels-4-pack.html>
- [11] Mecanum Wheel. *Manufacturing revolution on your desktop* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <http://diy3dprinting.blogspot.cz/2014/08/oddbot-is-3d-printable-diy-robot-with.html>

- [12] Mecanum Wheel Robot. *Instructables* [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <http://www.instructables.com/id/Mecanum-wheel-robot-bluetooth-controlled/>
- [13] Mobil Robot Kit. *RobotShop* [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://www.robotshop.com/en/4wd-omni-directional-arduino-compatible-mobile-robot.html>
- [14] Rotacaster. *Humantech* [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://www.humantech.com/product-review-rotacaster-omni-wheels-and-mounts/>
- [15] Rotacaster Omni Wheels. *IndustrySearch* [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://www.industrysearch.com.au/rotacaster-omni-wheels-rotaskate-multi-directional-6x-r3-or-r4-125mm/p/131390>
- [16] Airtrax Cobra. *Vertical* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <http://www.vertikal.net/en/news/story/5931/>
- [17] Omni Turtle. *Alibaba* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: [https://www.alibaba.com/product-detail/parts-transferring-omni-directional-electric-disassembly\\_60527383043.html](https://www.alibaba.com/product-detail/parts-transferring-omni-directional-electric-disassembly_60527383043.html)
- [18] Airtrax. *Pinterest* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/20688479513424463/>

## 12 Bibliografie

KÁRNÍK, L. – KNOFLÍČEK, R. – MARCINCIN, J. N. *Mobilní roboty*. Opava: MÁRFY SLEZSKO, 2000. 210 s. ISBN 80-902746-2-5.

MENZEL, P. – D'ALUSIO, F. *Robo sapiens: evolution of a new species*. USA, New York, 2000. 239 p. ISBN 0-262-13382-2.

SKARUPA, J. – MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. Košice: Viena Košice, 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0.

KOLÍBAL, Z a kol. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. I. vydání. Havlíčkův Brod: VUTIUM, 2016, 786 s. ISBN 978-80-214-4828-5.

## 13 Seznam příloh

Příloha A:	Sestavný výkres v PTC Creo – vykres_sestava_kolo
Příloha B:	Podsestavný výkres v PTC Creo – vykres_podsestava_ram
Příloha C:	Podsestavný výkres v PTC Creo – vykres_podsestava_valecek
Příloha D:	Výkres rámu v PTC Creo – vykres_ram_kola
Příloha E:	Výkres rámu 1 v PTC Creo – vykres_ram_kola1
Příloha F:	Výkres vymezovače v PTC Creo – vykres_vymezovac
Příloha G:	Výkres válivého elementu v PTC Creo – vykres_element
Příloha H:	Výkres vymezovací kroužek v PTC Creo – vykres_vymezovaci_krouzek
Příloha CH:	Výkres hřídele v PTC Creo – vykres_hridel
Příloha I:	Výkres dorazového pouzdra v PTC Creo – vykres_dorazove_pouzdro

### Přiložené DVD:

Příloha A:	Výkresová dokumentace v PTC Creo Parametric 3.0
Příloha B:	3D model optimální varianty v PTC Creo Parametric 3.0
Příloha C:	Diplomová práce.pdf
Příloha D:	Diplomová práce.docx